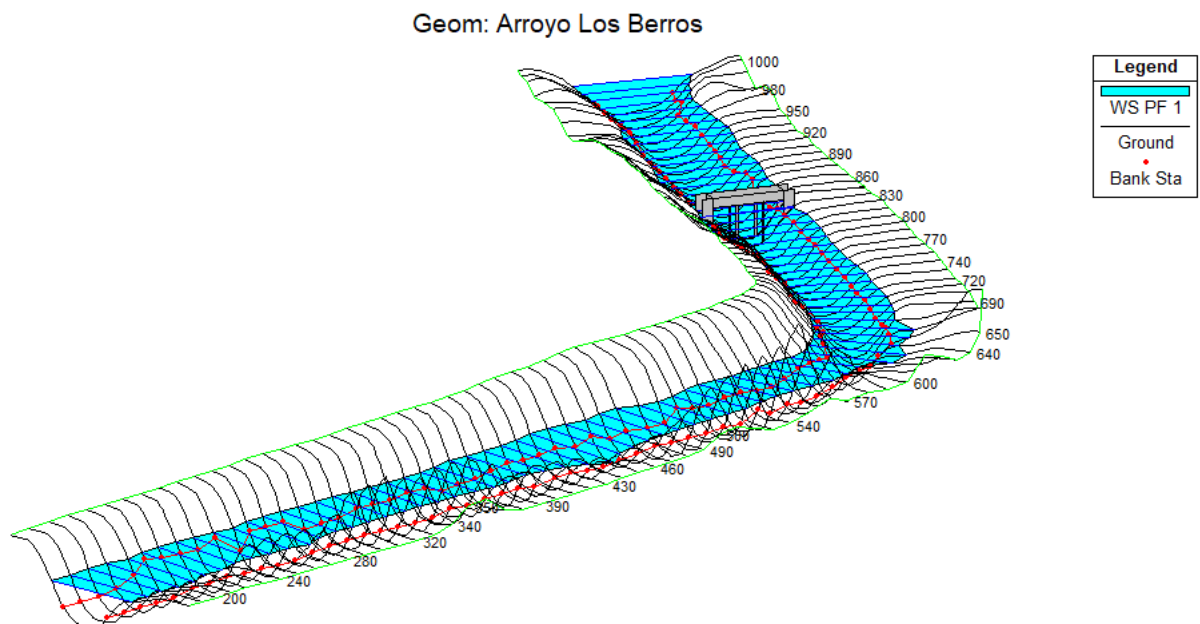


UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE



CÁTEDRA DE HIDROLOGIA e HIDRAULICA VIAL

HEC-RAS: Guia para la modelización de puentes

Ing. Adolfo Guitelman

Joaquin Donato

Guia para la modelización de puentes mediante software HEC-RAS

Mediante el presente documento se buscará que el lector pueda realizar un seguimiento paso a paso de una metodología para modelizar un curso de agua genérico mediante el empleo del software HEC-RAS 6.1, así como también haciendo uso de la herramienta del RAS-MAPPER.

Paso a Paso

- 1) En primer lugar, se necesita obtener una imagen del tipo “TIF” del lugar de la implantación. En forma simplificada, este tipo de archivo es similar a una imagen, pero cada pixel o punto contiene información de coordenadas (X,Y,Z). De esta forma, su obtención e importación en un software capaz de procesarla permite contar con la geometría del terreno deseada y necesaria para el desarrollo de nuestro objetivo.

Si usted ya cuenta con la imagen tipo TIF, puede saltarse este paso.

Para la obtención de dichas imágenes, en el caso de Argentina (y al menos en este caso particular), haremos uso de la base de datos del IGN (Instituto Geográfico Nacional). El mismo en su sitio web Oficial (www.ign.gov.ar) posee una sección denominada “Modelo Digital de Elevaciones”, y dentro de ella otra denominada “mapa”. Dirigiéndonos allí, es donde podremos localizar la imagen que nos sea más conveniente para la futura implantación de nuestro curso de agua. El link directo a esta sección es: (www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa).

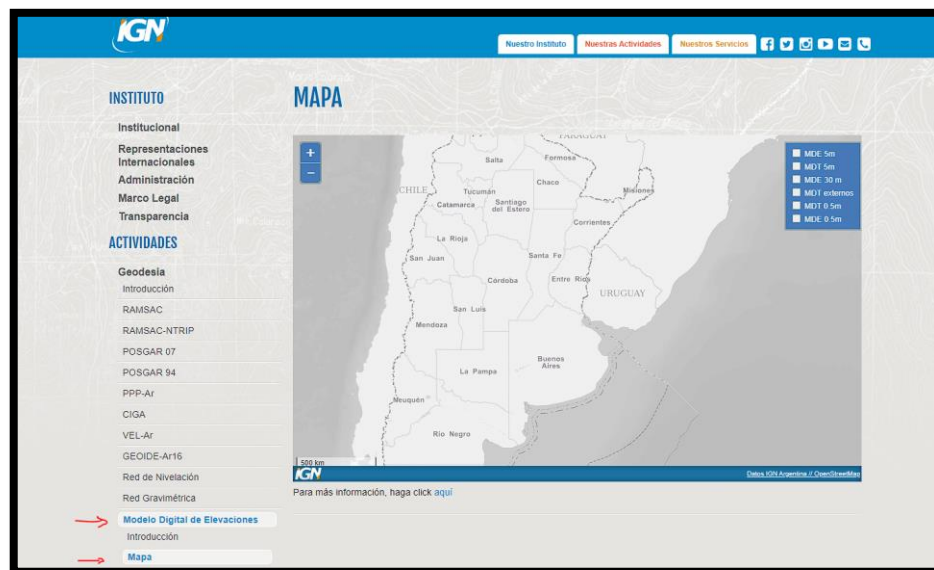


Ilustración 1- Mapa con modelos de elevación- Sitio Web del IGN

Para este caso particular, analizaremos el arroyo Los Berros, en sus aproximadamente

800 m antes de la desembocadura en el río Reconquista.

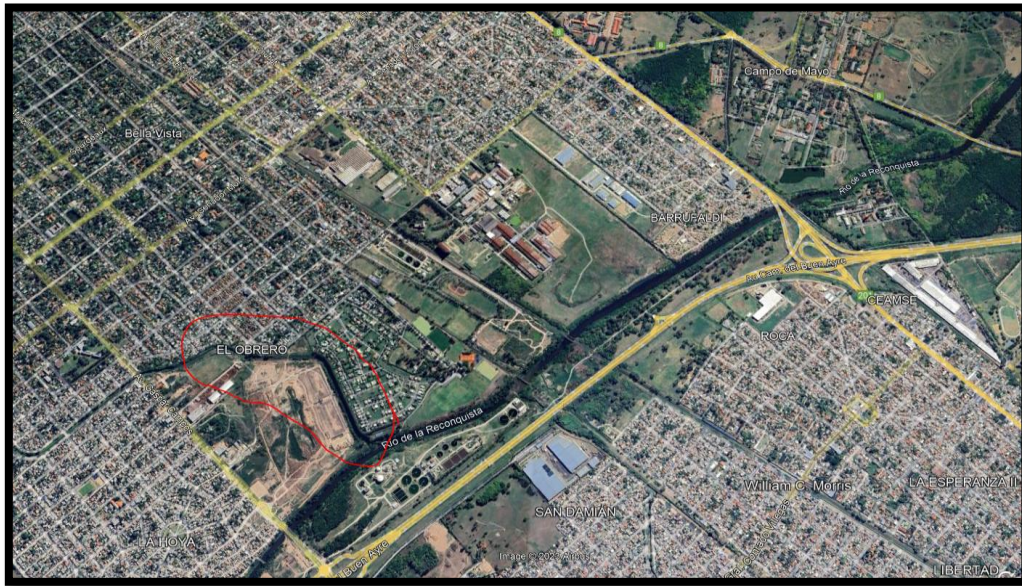


Ilustración 2-Imagen de la zona de interés en Google Earth Pro

En consecuencia buscaremos en el mapa del IGN el modelo de elevación de mayor precisión posible en la zona de análisis mencionada. Recordemos que, en forma resumida, un modelo de elevación únicamente asigna valores de elevaciones de cada punto, sin determinar y eliminar del mismo cualquier objeto que pueda alterar el valor asignado (árboles, edificios, etc). Por lo tanto, en caso de contar en la zona de interés con un modelo de terreno, se recomienda hacer uso del mismo.

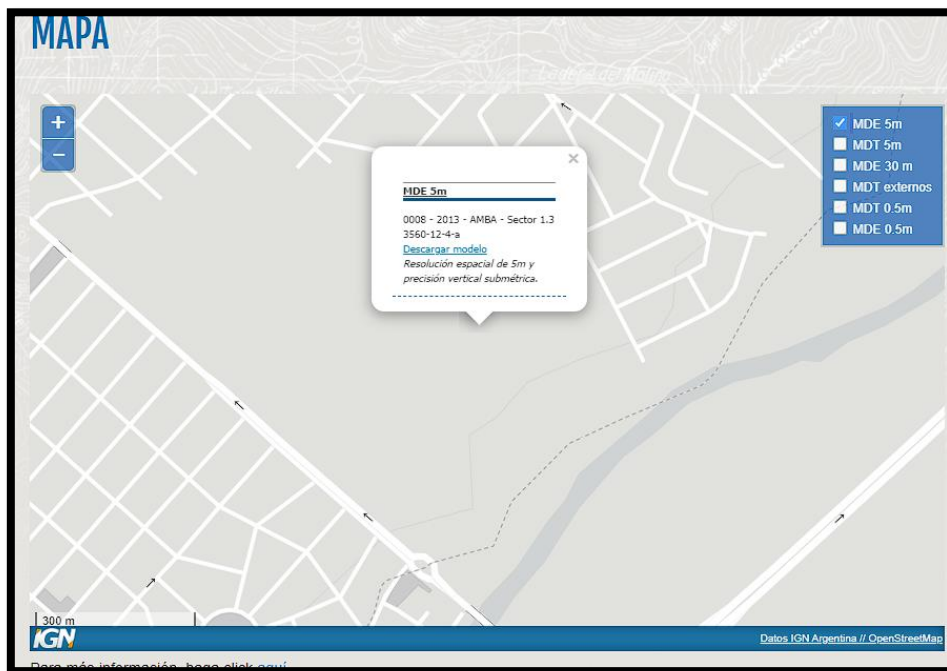
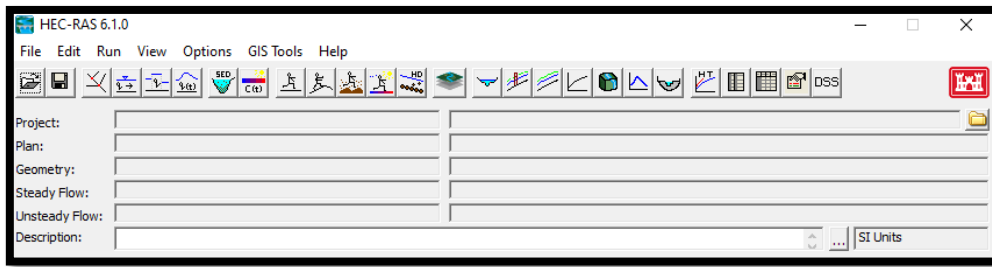


Ilustración 3- MDE de mayor precisión en la zona de interés

Clickeando en “descargar modelo”, usted obtendrá la imagen necesaria.

2) Luego se procede a abrir el programa HEC- RAS.



3) Ilustración 4- Interfaz del software

Una vez abierto, crearemos un proyecto nuevo, para lo cual nos dirigiremos a “file-New Project” e introducimos el nombre del proyecto y le asignamos la carpeta en donde queramos guardarlo.

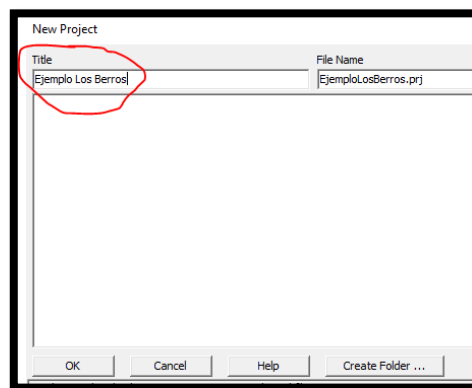


Ilustración 5- proceso de creación del proyecto

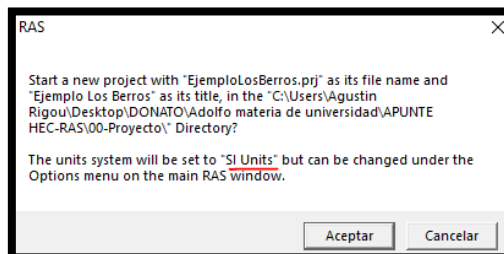


Ilustración 6- aviso automatico del software sobre sistema de unidades

Revisar que el proyecto este seteado en unidades del sistema internacional. En caso de no estarlo, dirigirse a “Options-Unit System” y asignarle las unidades del SI.

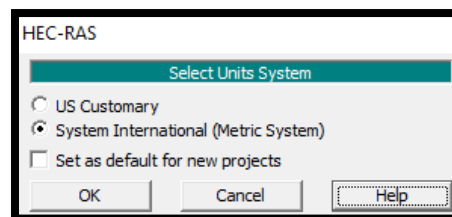


Ilustración 7- Solapa para determinación del sistema de unidades

- 4) Una vez disponible la imagen TIF, se procede a su importación para el modelo. Para ello, nos dirigimos a la herramienta del RAS-MAPPER.

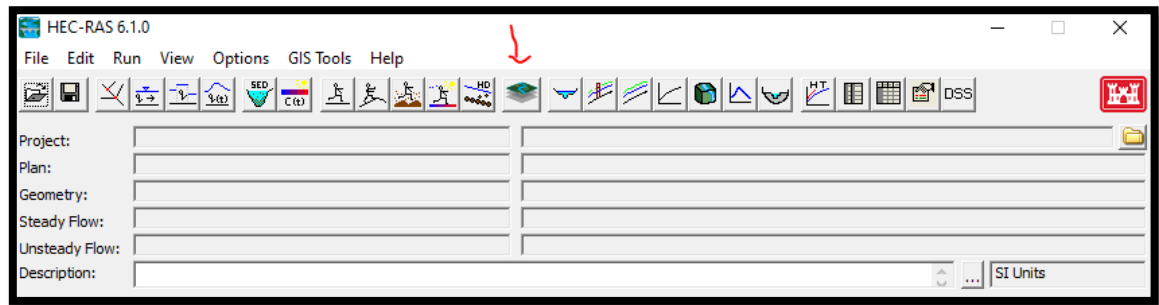


Ilustración 8- Botón para acceder al RAS MAPPER

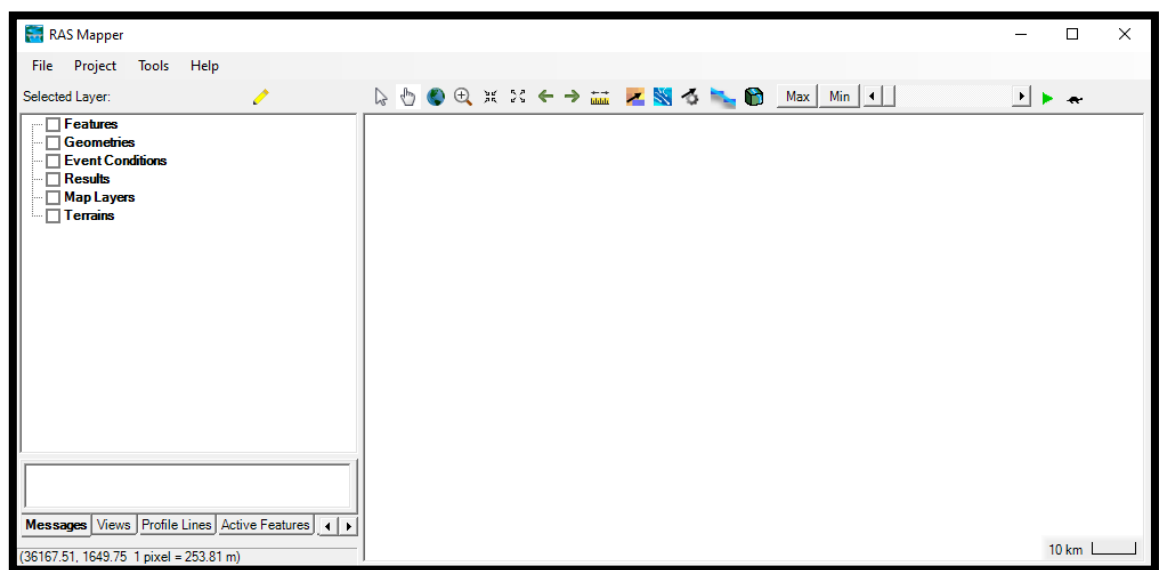


Ilustración 9-Interfaz inicial de la herramienta mencionada

Una vez dentro de ella, en primer lugar es necesario adoptar la proyección adecuada a la ubicación del área de interés en función de la imagen TIF disponible. Esto es necesario para que al importar esta última no exista un problema de referenciación que ocasiona problemas futuros y la incompatibilidad con los mapas solapados.

En este caso la proyección a emplear será indicada por la cátedra para su adopción. Para seleccionar la misma, se requiere contar con el archivo “.prj” del sistema de proyección adecuado y se debe proceder de la siguiente manera:

“Tools -> SET PROJECTION ->(buscan el archivo “WGS_1984_Web_Mercator.prj” y ponen apply)”

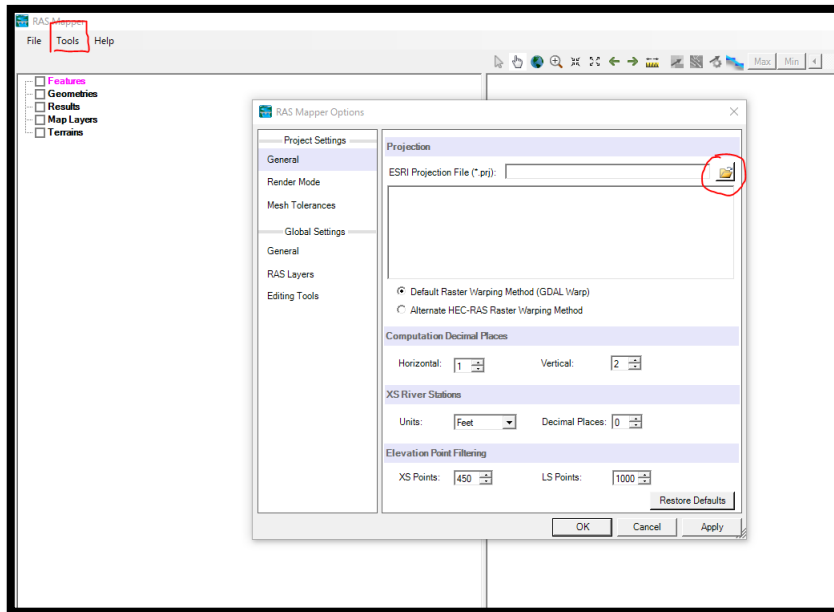
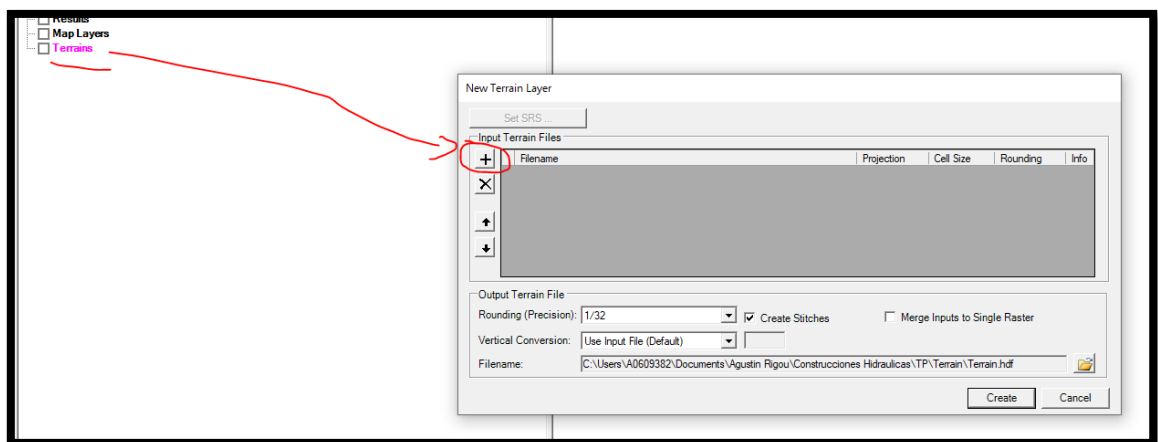


Ilustración 10- Procedimiento para adopción del sistema de proyección

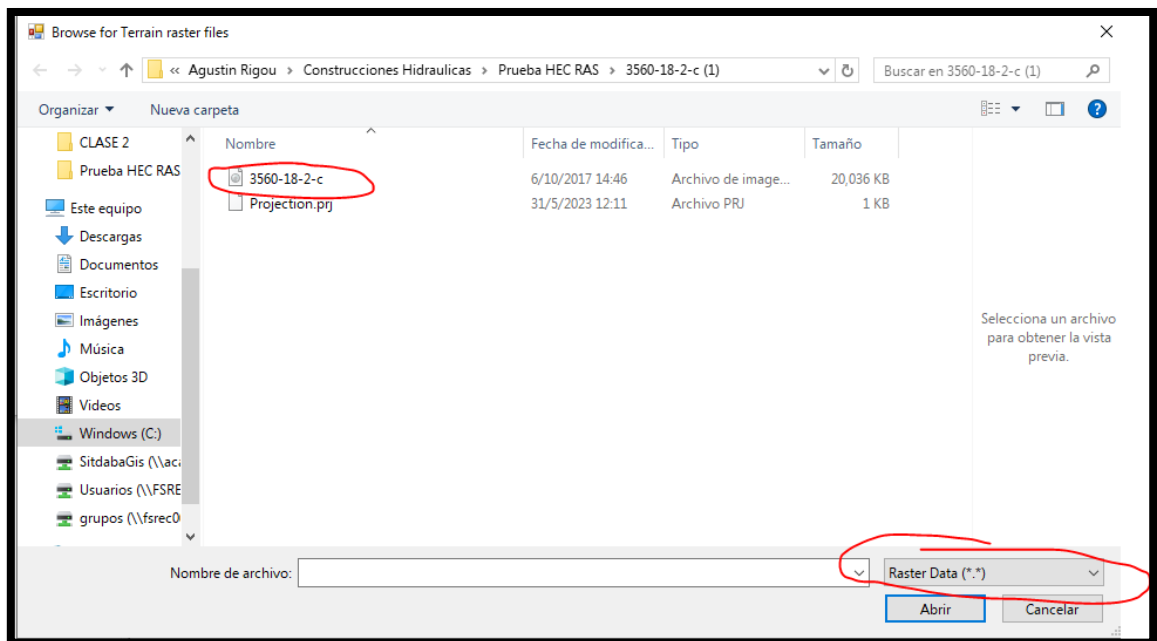
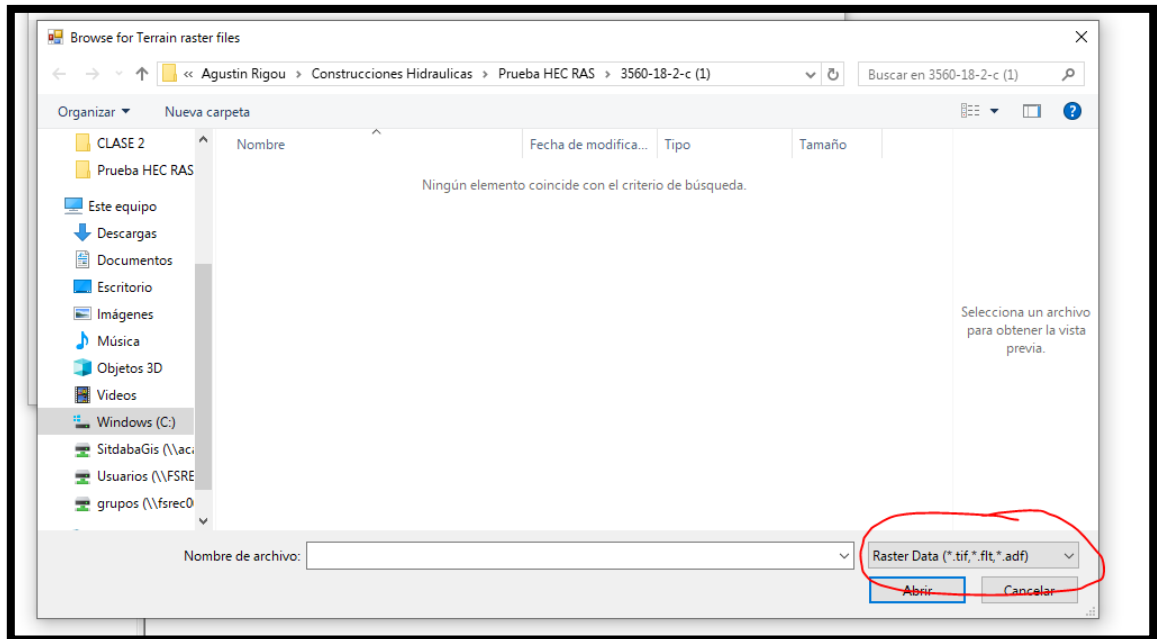
Una vez realizado el paso anterior, se procede a la creación del terreno, para lo cual dirigirse

a:

terrain, click derecho → create new terrain → Clickean el signo +



Puede ser que la imagen TIF o archivo no les aparezca de entrada. Para que aparezca (dentro de la carpeta que la hayan guardado), tienen que poner acá para que se vean todo tipo de rasters:



Usan ese archivo “**3560-18-2-c (1)**” (o el que corresponda con la imagen “.TIF” asignada para el trabajo en cuestión).

Para verificar fíjense que la escala en metros sea razonable. Si ven que la escala de abajo les tira valores muy bajos, del orden de los 0.01 metros, es porque está mal setead la proyección y lo tienen que hacer devuelta (borrar el terreno, volver a setear la proyección y volver a crear el terreno.)

Una vez creado el terreno, se debería visualizar de la siguiente manera:

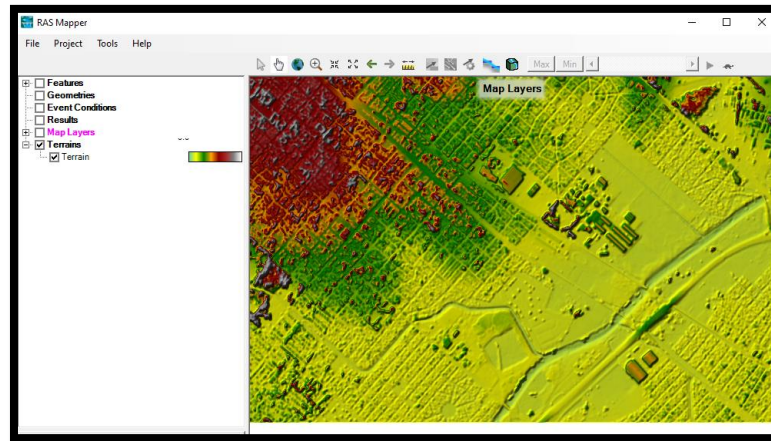


Ilustración 11-Terreno creado mediante imagen .TIF

Luego como herramienta útil, incorporar al modelo un “Map Layer”, para lo cual haciendo click derecho en dicho lugar se puede incorporar un mapa como por ejemplo el “Google Satellite”.

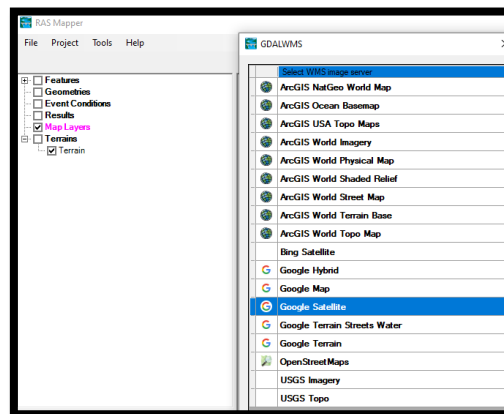


Ilustración 12-Incorporación del mapa de Google Satellite

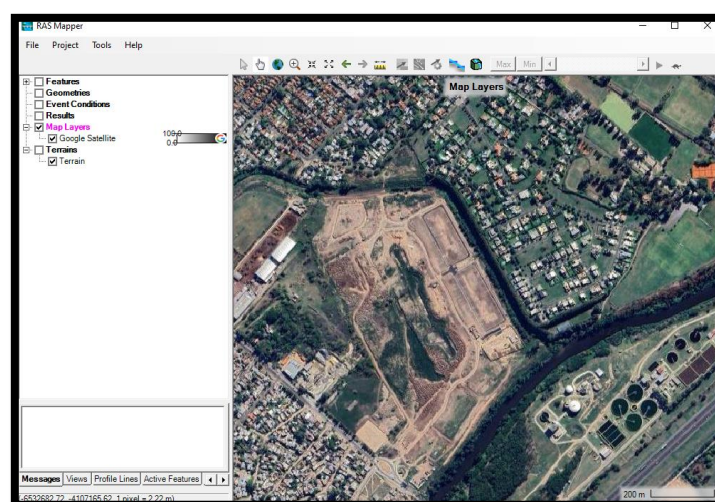


Ilustración 13- Mapa de Google Satellite incorporado

Como última cuestión, es posible verificar la correcta adopción del sistema de proyección mediante la superposición de las imágenes anteriores. Haciendo doble clic en el “Google satélite” se abrirá una pestaña de “layer properties”, en donde se podrá modificar la opacidad de la misma. Por ejemplo colocándola al 50%, podremos visualizar la superposición adecuada de la imagen TIF y del mapa incorporado.

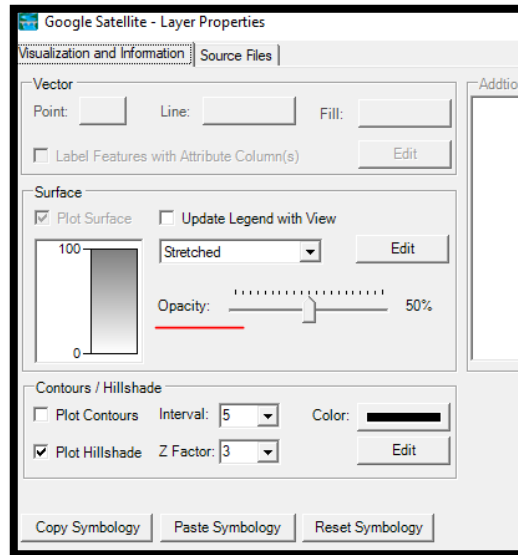


Ilustración 14- Solapa de "Layer Properties"

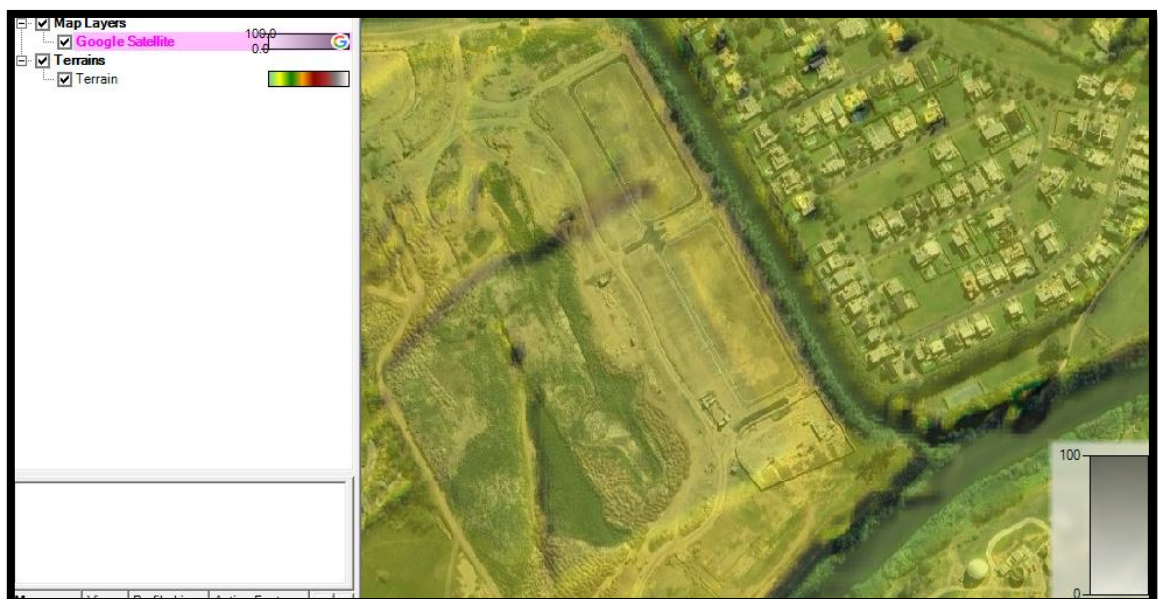


Ilustración 15- Superposición de imágenes

5) Luego se procederá a la creación del curso de agua. Para ello:

Click derecho en “Geometries” → Add new geometry → colocar el nombre deseado (Ej. “Arroyo Los Berros”)

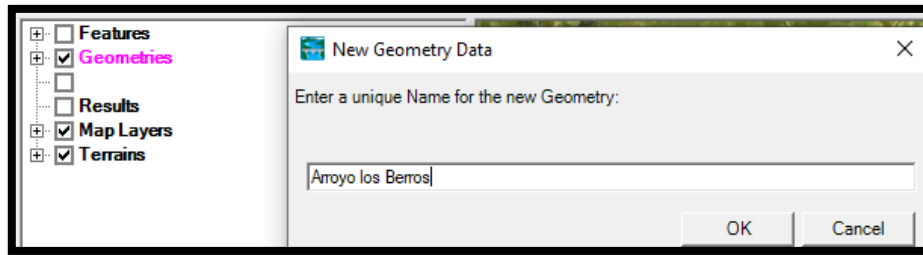


Ilustración 16- Creación de la geometría

Posteriormente, clickeamos en los rectángulos de la geometría creada (Arroyo Los Berros” y en la pestaña de “Rivers”. Luego hacemos click derecho y elegimos la opción de “Edit Geometry” (o clickeamos directamente en el lápiz color amarillo)

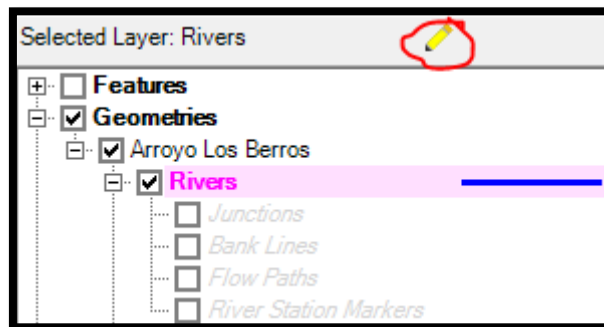


Ilustración 17-Edición del curso de agua

Allí procederemos a delimitar el eje curvilíneo del curso mediante sucesivos puntos que permitan describir lo más precisamente la geometría del mismo. Se recomienda apagar la capa correspondiente al TIF, para visualizar de forma más clara.

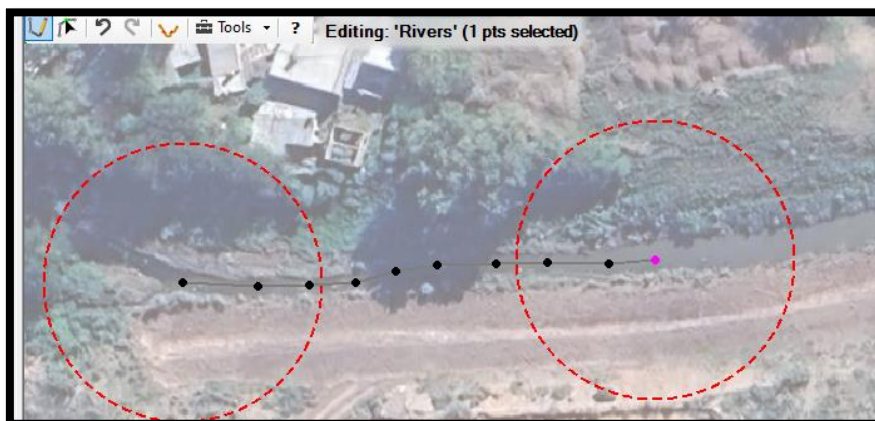


Ilustración 18- Trazado del eje del arroyo

Al finalizar el trazado, haciendo click en el último punto insertado, el software entenderá que ese punto es el de finalización y solicitará determinar el nombre del “river” y el nombre del “Reach”

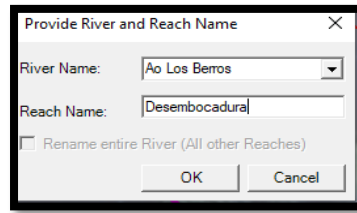


Ilustración 19- Nombres del curso y del punto de finalización



Ilustración 20- Eje del arroyo trazado

Luego debemos determinar las márgenes del curso en forma análoga. Seleccionando en “Bank Lines” y haciendo click en “Edit selected layer” se delimitarán las líneas de margen Izquierda (en primer lugar) y margen derecha (en segundo lugar), nuevamente mediante sucesivos puntos.

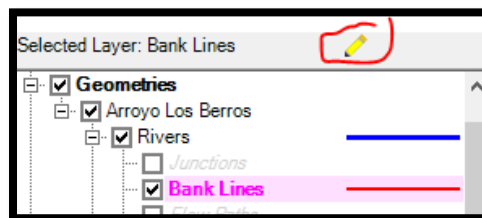


Ilustración 21- Selección de "Bank Lines"

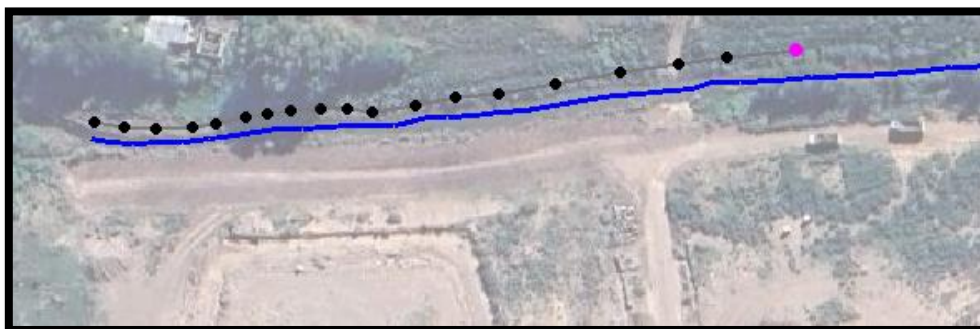


Ilustración 22- Creación de margen izquierda



Ilustración 23- Eje del curso de agua y márgenes delimitadas

Por último delimitamos la zona o huella de inundación con un proceso análogo al efectuado en los dos casos anteriores, pero dirigiéndonos a “Flow Paths”.

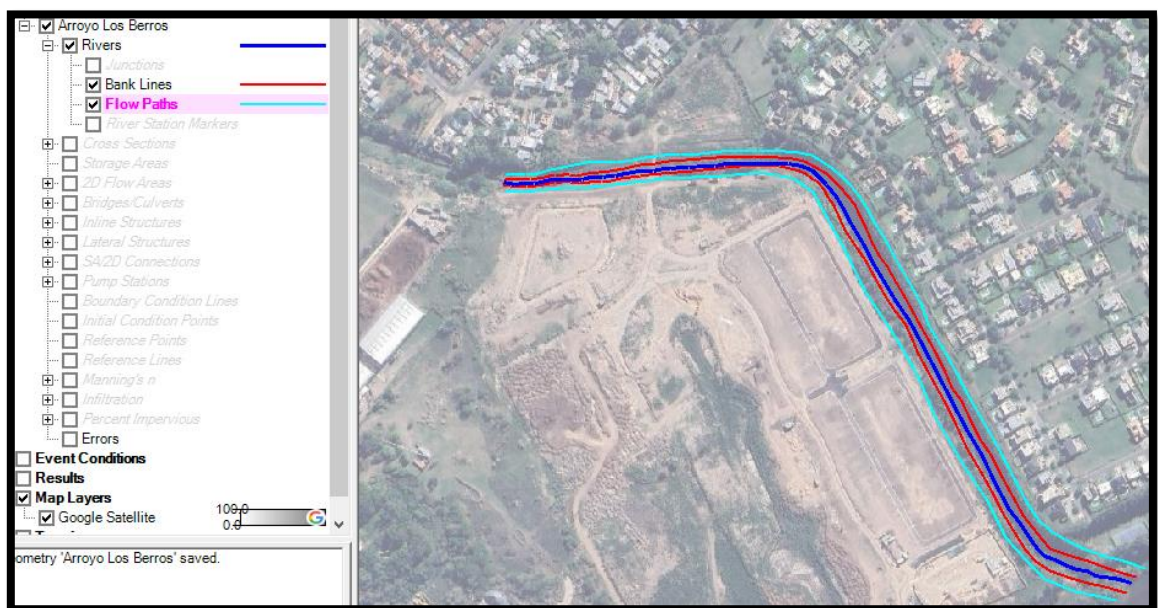


Ilustración 24- Eje del curso, márgenes y flow path delimitados

- 6) Una vez trazado el curso y las márgenes marcadas, se procede a la determinación de la ubicación de las secciones transversales. Para ello se pueden graficar en forma manual mediante la solapa de “Cross Sections” y trazando las mismas mediante puntos:

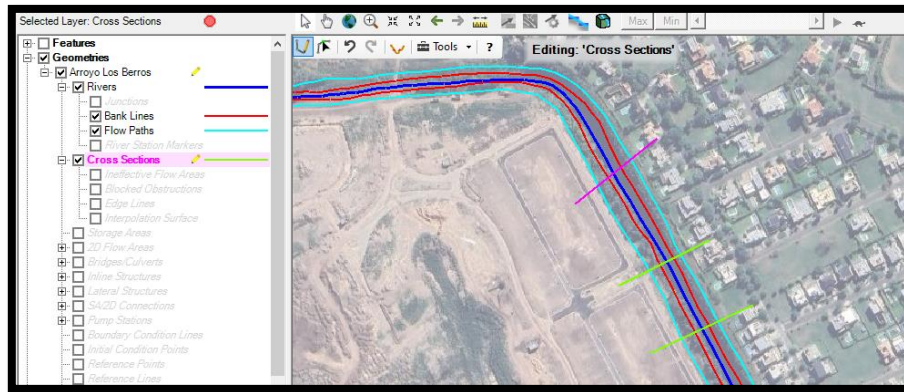


Ilustración 25- Trazado de secciones transversales en forma manual

Sin embargo esta determinación puede ser bastante imprecisa. Por lo tanto, se procede a determinar las secciones cada una separación preestablecida (a indicar) y de un ancho deseado (a indicar). Nuevamente nos dirigimos a “Rivers” y hacemos click en edición del layer. Luego nos paramos sobre la línea del eje del curso y haciendo click derecho, seleccionamos la opción de “auto generate cross sections”. Allí introducimos el espaciamiento y el ancho de las secciones deseado.

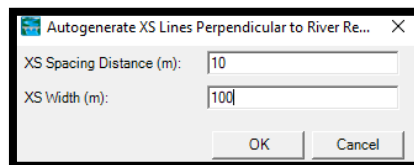


Ilustración 26- Espaciamiento y ancho de las secciones transversales



Ilustración 27- Secciones transversales autogeneradas

Por ultimo guardar la geometría creada con el RAS- MAPPER y volver a la pestaña de HEC-RAS.

- 7) Finalizado el trazado en RAS-MAPPER, procedemos a importar la geometría creada en el HEC-RAS. Para esto clicar en “Edit geometry data”

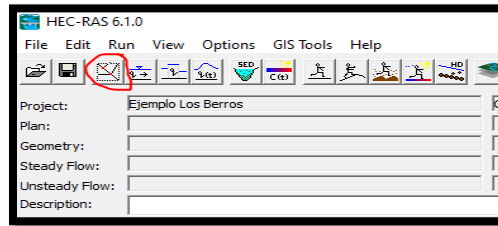


Ilustración 28- Acceso a "edit geometry data"

Dirigirse a “File → Open geometry data” y seleccionar la geometría creada recientemente:

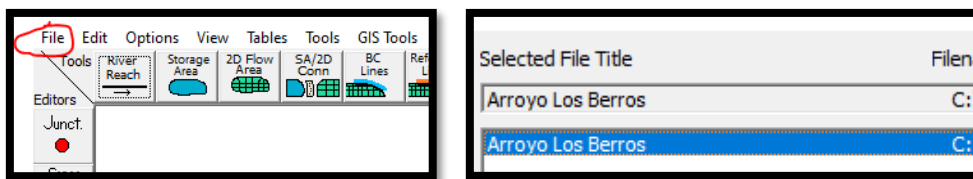


Ilustración 29- Acceso a "open geometry data" y selección de la geometría

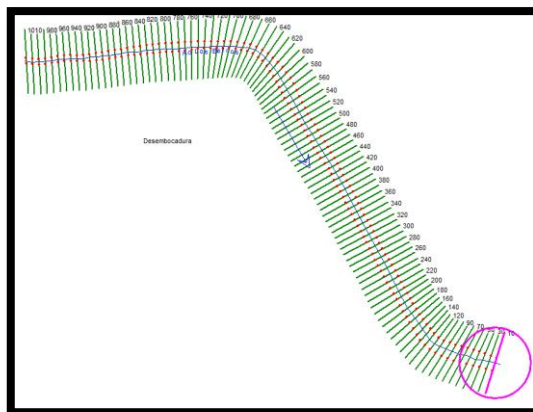


Ilustración 30- Geometría importada

Para visualizar el terreno de fondo podemos hacer click en el siguiente icono:

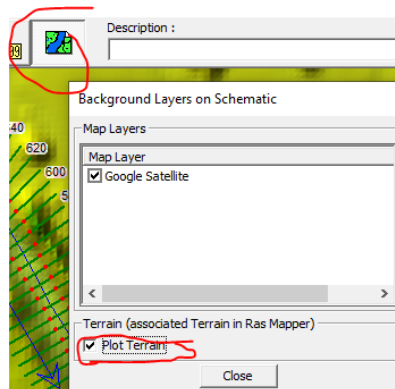


Ilustración 31- Incorporación del terreno de fondo

Si nos dirigimos al icono de “Cross Sections” podremos visualizar las secciones transversales incorporadas por el modelo generado previamente. Clickeando en las flechas indicadas, pueden observarse las sucesivas secciones cada una distancia igual al espaciamiento indicado.

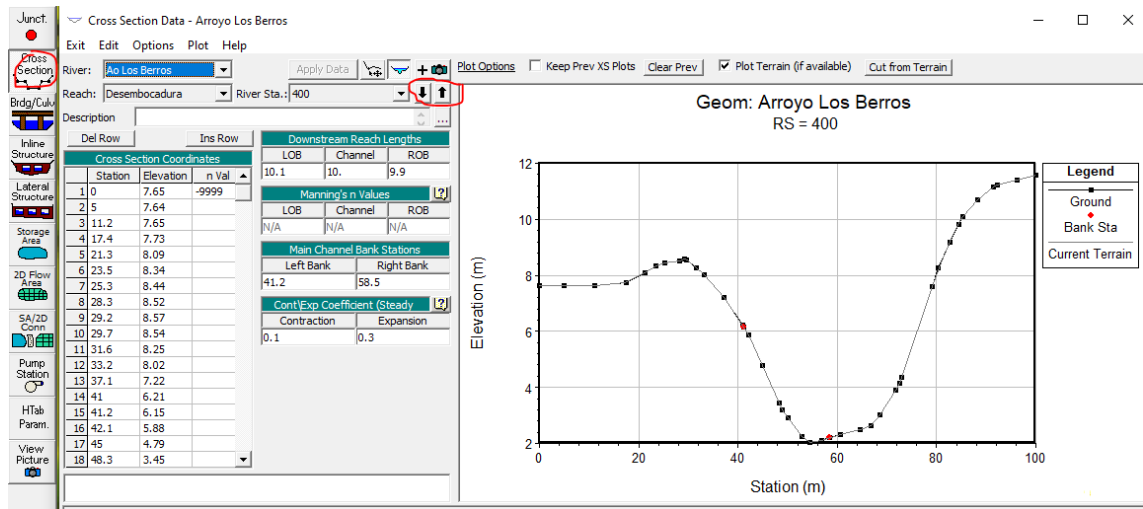


Ilustración 32- Solapa de "Cross sections"

- 8) Procedemos a la asignación de los coeficientes de Manning para el curso y las margenes, para lo cual en la parte superior nos dirigimos a: “Tables → manning’s n or k values...”

En primer lugar seleccionar “left overbank only”, Clickear en donde dice n#1, luego en set values y asignar el valor deseado para la margen izquierda.

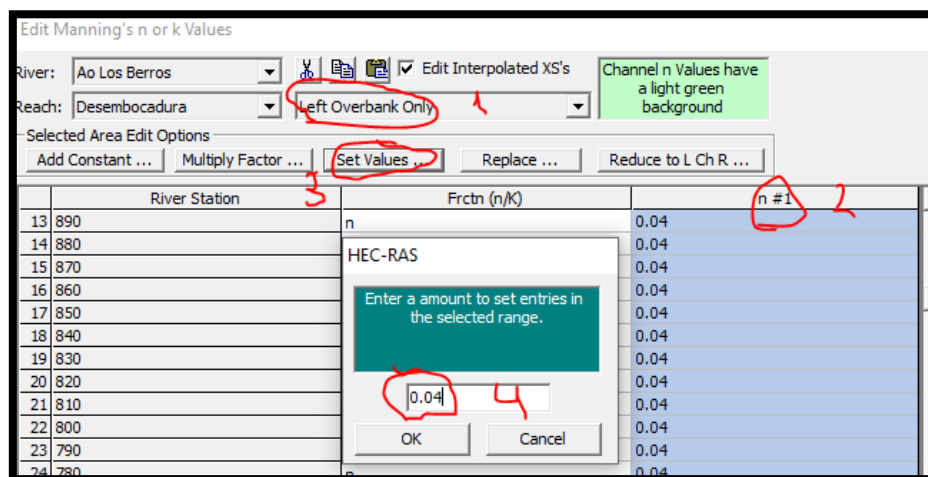


Ilustración 33- Procedimiento de carga de los valores de n de manning

Repetir este proceso para el centro del curso y para la margen izquierda.

Edit Manning's n or k Values

River: Ao Los Berros Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: Desembocadura All Regions

Selected Area Edit Options: Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3
13 890	n	0.04	0.035	0.04
14 880	n	0.04	0.035	0.04
15 870	n	0.04	0.035	0.04
16 860	n	0.04	0.035	0.04
17 850	n	0.04	0.035	0.04
18 840	n	0.04	0.035	0.04
19 830	n	0.04	0.035	0.04
20 820	n	0.04	0.035	0.04
21 810	n	0.04	0.035	0.04
22 800	n	0.04	0.035	0.04
23 790	n	0.04	0.035	0.04
24 780	n	0.04	0.035	0.04
25 770	n	0.04	0.035	0.04
26 760	n	0.04	0.035	0.04
27 750	n	0.04	0.035	0.04
28 740	n	0.04	0.035	0.04
29 730	n	0.04	0.035	0.04
30 720	n	0.04	0.035	0.04
31 710	n	0.04	0.035	0.04
32 700	n	0.04	0.035	0.04
33 690	n	0.04	0.035	0.04
34 680	n	0.04	0.035	0.04
35 670	n	0.04	0.035	0.04
36 660	n	0.04	0.035	0.04

Ilustración 34-Coeficientes de manning cargados

Nótese que estos valores se deberían asignar a todas las secciones para cada una de las zonas (canal central y márgenes). Sin embargo puede ser que esté activado el modo de “Horizontal variation in n values”, el cual debe ser desactivado para cada sección para que los valores de n de manning introducidos previamente se ajusten automáticamente. Clickear en “options” y luego deshabilitar la opción de horizontal variation in n values. Esta operación debe ser repetida en cada sección que se tenga.

Exit Edit Options Plot Help

River: Ao Los Berros Apply Data

Reach: Desembocadura River Sta.: 950

Description

Del Row	Ins Row	Stacion	Elevation	n Val
		0	7.62	0.04
1		2.3	7.59	
2		5.9	7.6	
3		7.7	7.61	
4		13.1	7.7	
5		18.5	7.72	
6		23.9	7.54	
7		25.8	7.36	
8		27.4	7.18	
9		29.2	7.01	
10		30.8	6.6	
11		33.3	5.92	
12		40	4.11	

LOB	Channel	ROB
10.1	10.	10.

LOB	Channel	ROB
N/A	N/A	N/A

Left Bank	Right Bank
44.6	53.3

Cont'Exp Coefficient (Steady)	
0.1	0.3

Cross Section Data - Arroyo Los Berros

Exit Edit Options Plot Help

River: Ao Los Berros Apply Data

Reach: Desembocadura River Sta.: 950

Description

Del Row	Ins Row	Stacion	Elevation	n Val
		0	7.62	
1		2.3	7.59	
2		5.9	7.6	
3		7.7	7.61	
4		13.1	7.7	
5		18.5	7.72	
6		23.9	7.54	
7		25.8	7.36	
8		27.4	7.18	
9		29.2	7.01	
10		30.8	6.6	
11		33.3	5.92	
12		40	4.11	

LOB	Channel	ROB
10.1	10.	10.

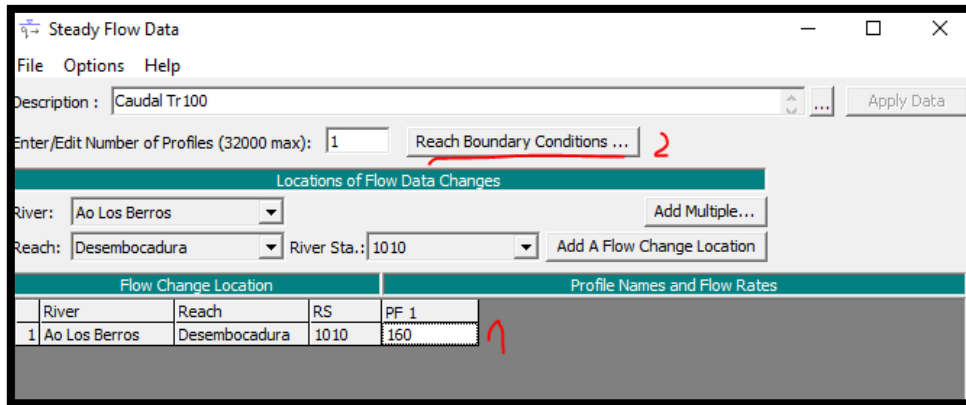
LOB	Channel	ROB
0.04	0.035	0.04

Left Bank	Right Bank
44.6	53.3

Cont'Exp Coefficient (Steady)	
0.1	0.3

Ilustración 35- Deshabilitación del modo "horizontal variation in n value"

9) Seguidamente, se procede a cargar las variables hidráulicas en el apartado Steady Flow, régimen permanente, introduciendo los valores de caudales que se deseen analizar. En nuestro caso se ingresará un único valor de caudal asociado al caudal pico de la crecida centenaria de 160 m³/s.



En reach Boudaries hay que colocar las condiciones de borde del modelo, para lo cual estableceremos que sea dato la pendiente, asignándole un valor del 0,2%, como valor aproximado de la pendiente media. Para ello asignamos tanto en “Upstream” como en “Downstream” un “Normal Depth” (clickeando en la opción de normal depth) de 0,002.

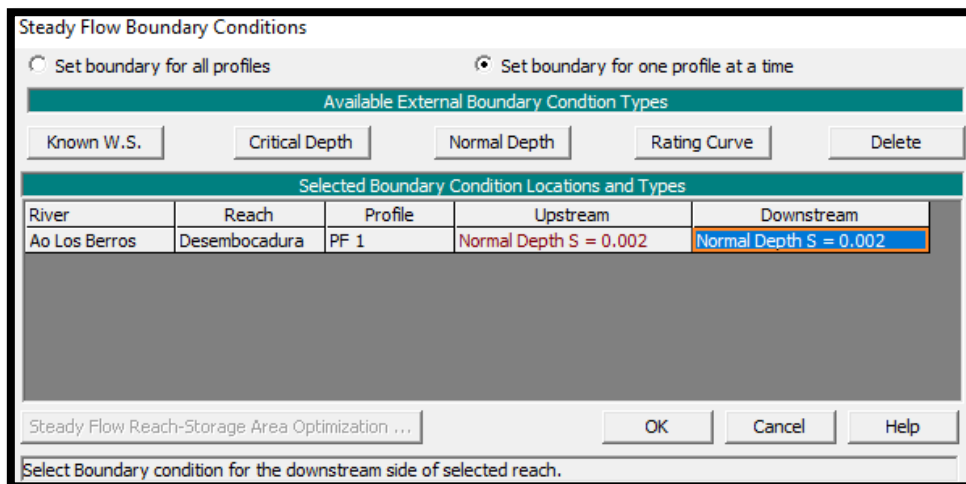
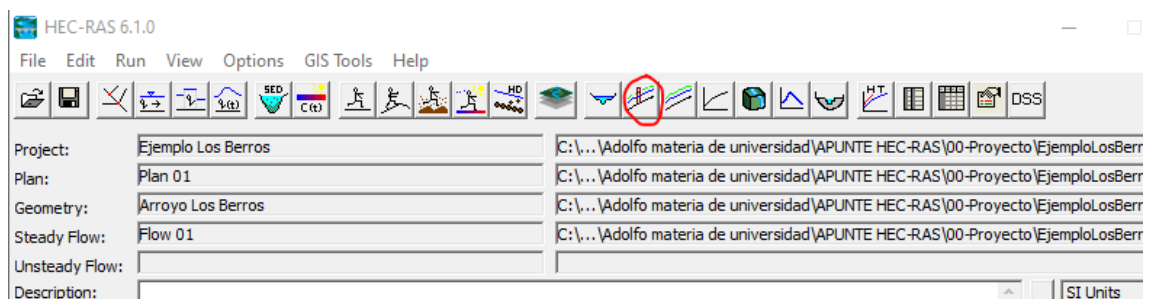


Ilustración 36- Condiciones de borde para el modelo

Para conocer que la pendiente media era aproximadamente del 0,2%; nos dirigimos al icono de “view profiles”:



Manteniendo la tecla “control” y clickeando en los puntos inicial y final (o puntos representativos), obtenemos la pendiente de la recta trazada:

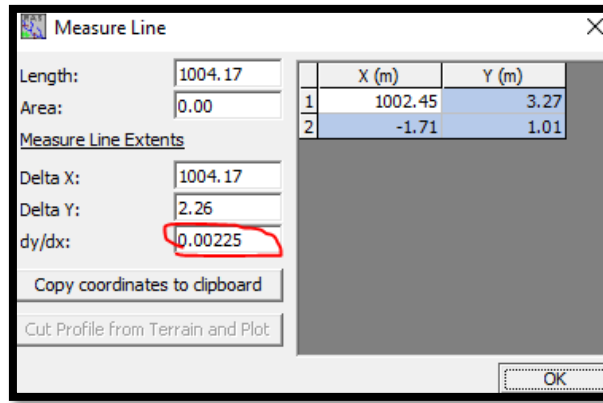


Ilustración 37- Pendiente de la recta trazada representativa del curso de agua

- 10) El siguiente paso consiste en definir el plan del modelo. Se elige un régimen de flujo mixto, para que el software discrimine cuándo se trata de un caso subcrítico y cuándo un supercrítico. Luego, se procede a correr del programa, para alcanzar los resultados que se persiguen en el estudio.

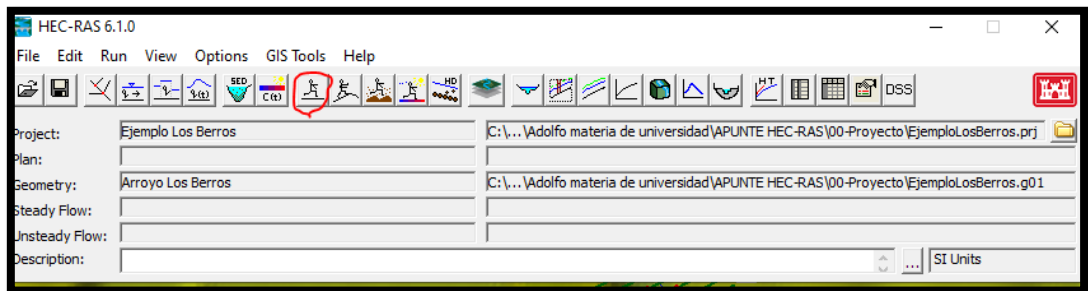


Ilustración 38- Icono de "perform Steady Flow Analysis"

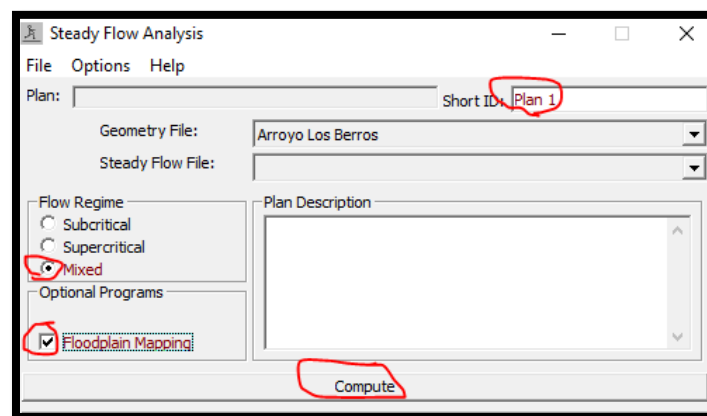


Ilustración 39- Solapa para computar el modelo

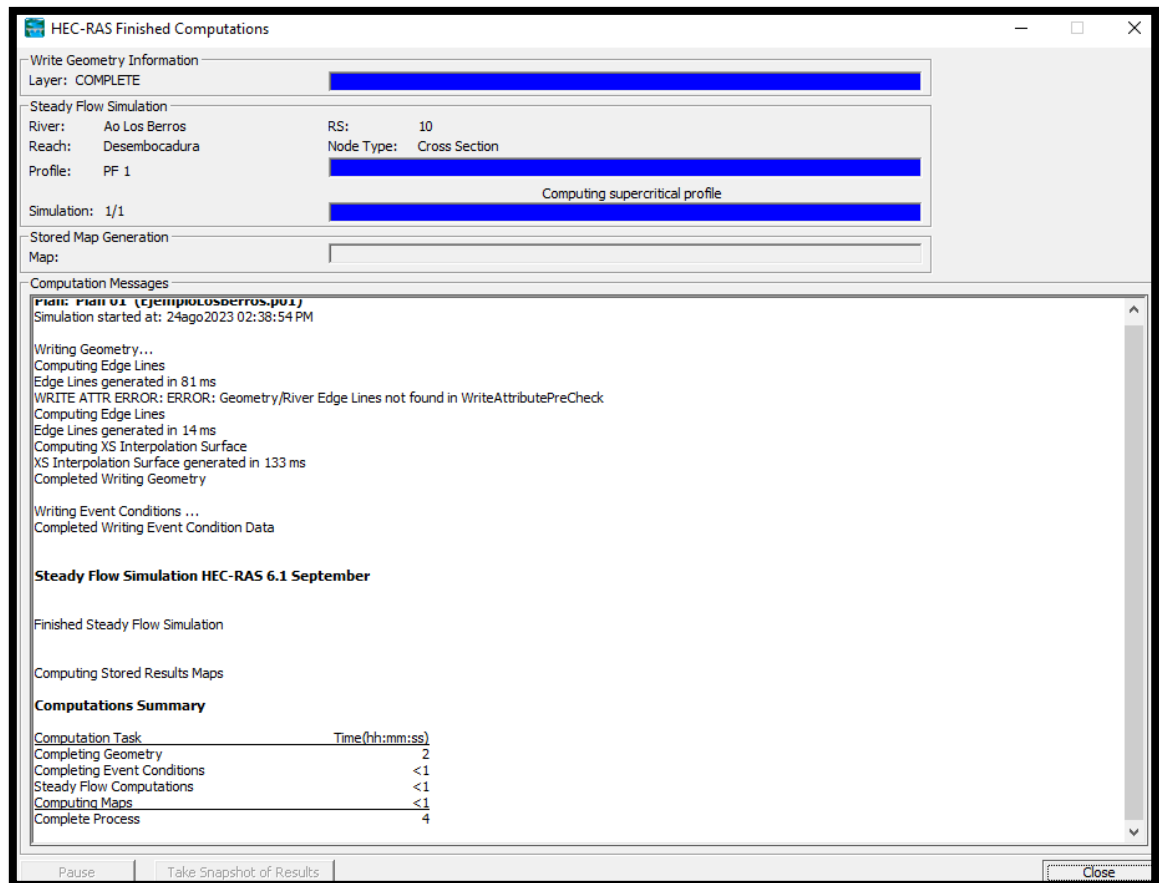


Ilustración 40- Cálculo sin advertencias del programa

11) Se procede a la extracción de algunos resultados:

11.1) Perfil transversal de velocidades:

Dirigiéndonos nuevamente a la solapa de “view/edit cross section” y clickeando en “cross sections” se puede observar los mismos perfiles transversales que antes, pero ahora con el perfil de velocidades por fajas.

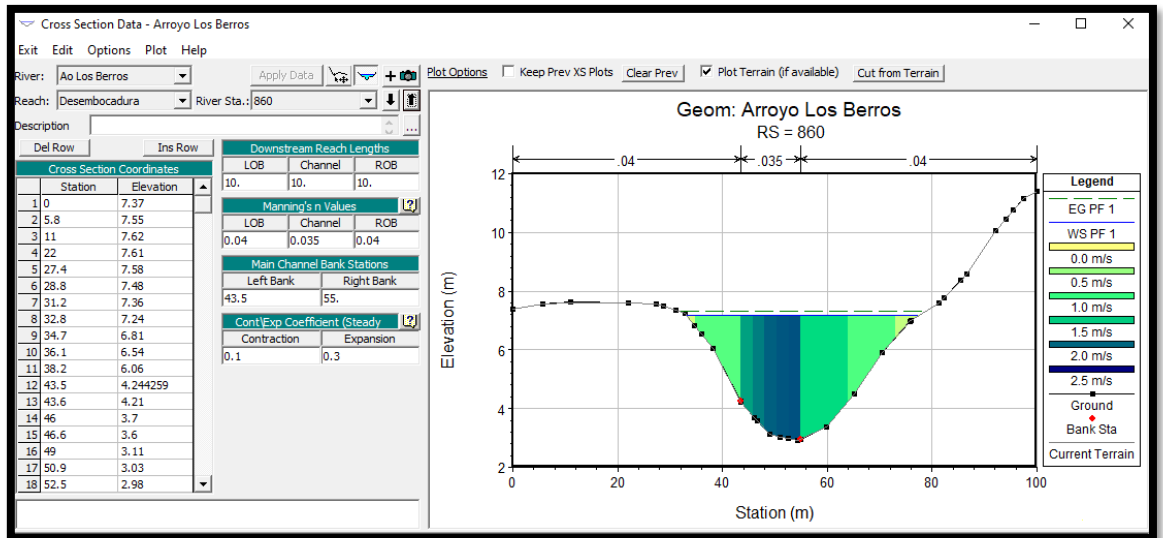


Ilustración 41- Perfil transversal de velocidades de una sección

Tambien pueden encontrarse en el siguiente icono de view cross sections.

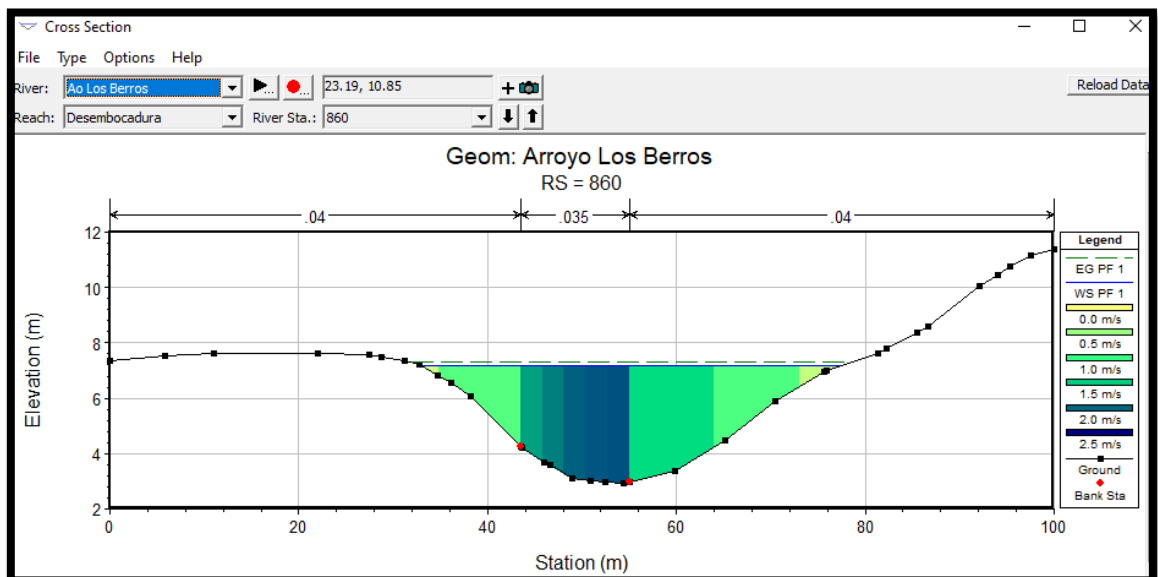
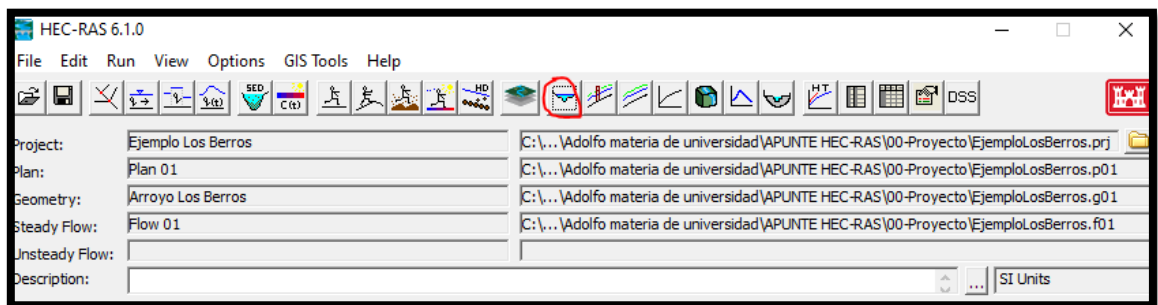


Ilustración 42- Solapa de "View cross section"

Nótese que existe una lateralización del flujo que no pareciera ser correcta desde el punto hidráulico, la cual se corregirá posteriormente.

11.2) Perfil longitudinal:

Clickeando en “view profiles” obtendremos el perfil longitudinal.

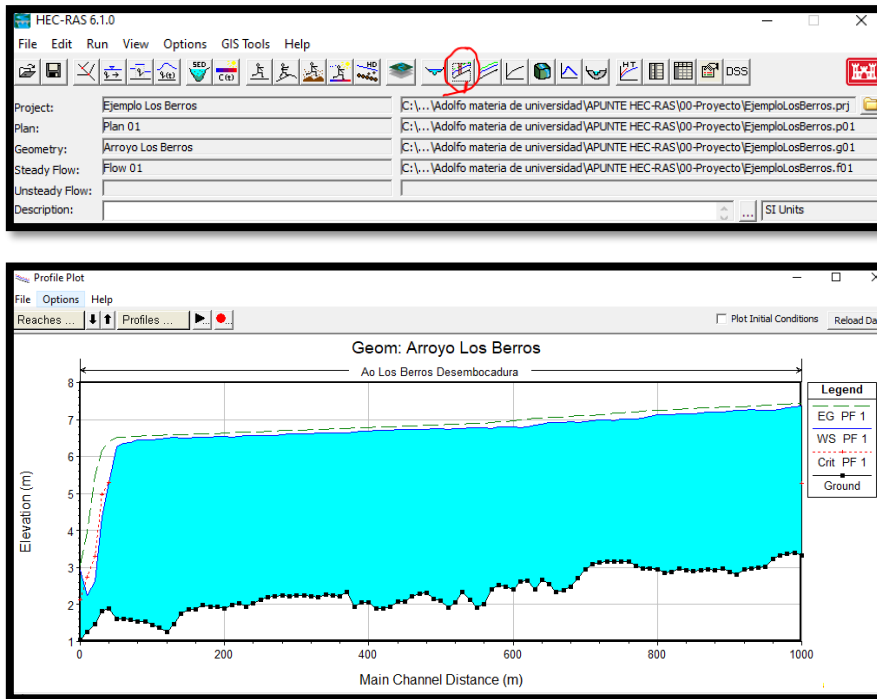


Ilustración 43- Perfil Longitudinal

Aquí puede observarse que en las últimas secciones, el modelo no es correcto, puesto que las secciones transversales adoptan parte de la geometría del río Reconquista, pero sin considerar el aporte de agua del mismo.

11.3) Mancha de inundación:

Abriendo nuevamente el RAS-Mapper, dirigiéndonos a la sección de “results- Plan 1- depth”, podremos ver la mancha correspondiente a la corrida.

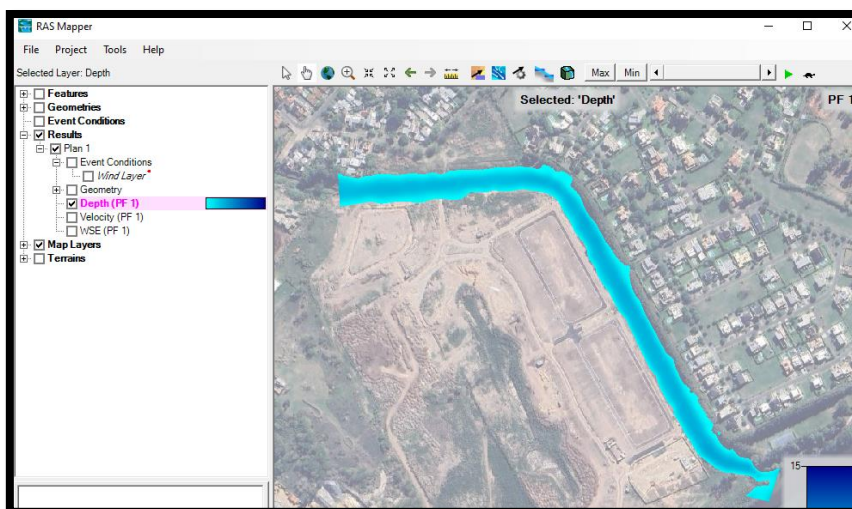


Ilustración 44- Mancha de inundación

11.4) Perspectiva X,Y,Z:

En la parte superior de la barra de herramientas, Clickeando en “VIEW → X-Y-Z perspective plots” se puede obtener un gráfico en 3D que permite entender la geometría aproximada del curso de agua.

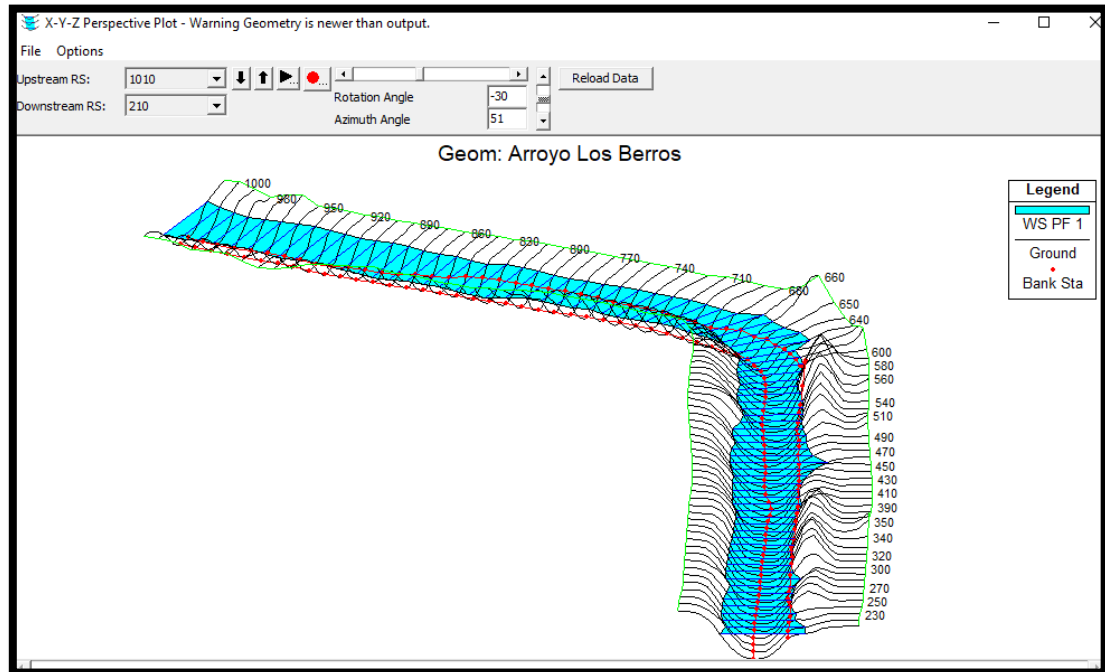


Ilustración 45- Perspectiva (X-Y-Z)

Para corregir la lateralización del escurrimiento observada, nos dirigimos a la solapa de “Cross Section Data”, y en cada una de las secciones transversales del modelo, debemos ajustar la posición del “Left Bank” y “Right Bank”. En dichos lugares, colocamos la ubicación en el eje X de donde se considere que efectivamente finaliza el “main channel” y comienza alguno de los bancos laterales. Luego presionamos en “Apply Data” y se verá modificada la ubicación de los puntos rojos en el gráfico.

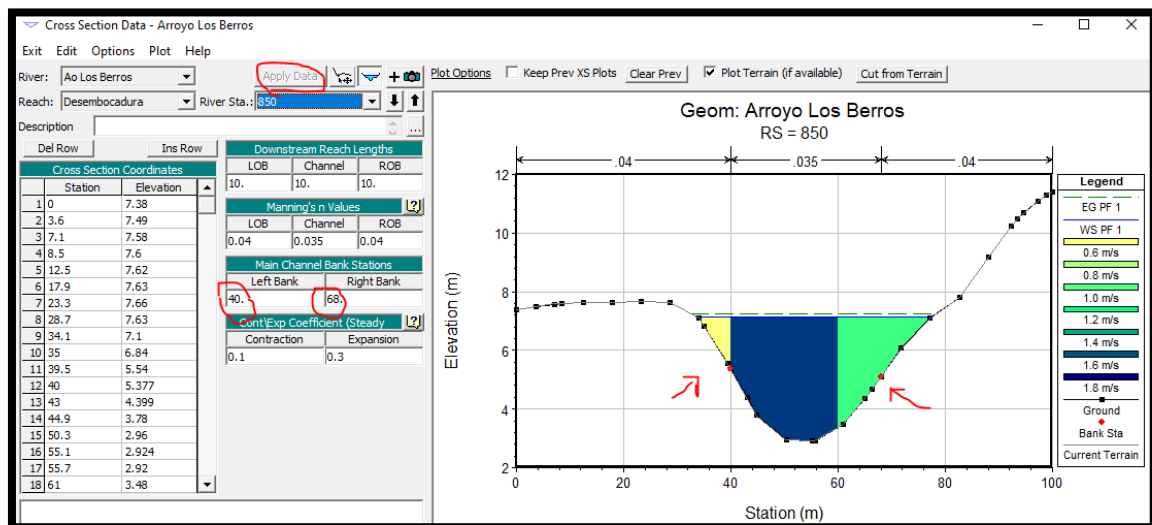


Ilustración 46- Modificación de los "Bank Station"

También se visualizarán los puntos de los “bank stations” modificados en la vista en planta.



Ilustración 47- vista en planta con los nuevos límites para el "Main Channel"

Si se computa nuevamente el modelo, se puede observar que los valores hallados ahora si respetan una lógica hidráulica de mayores velocidades en el centro del curso.

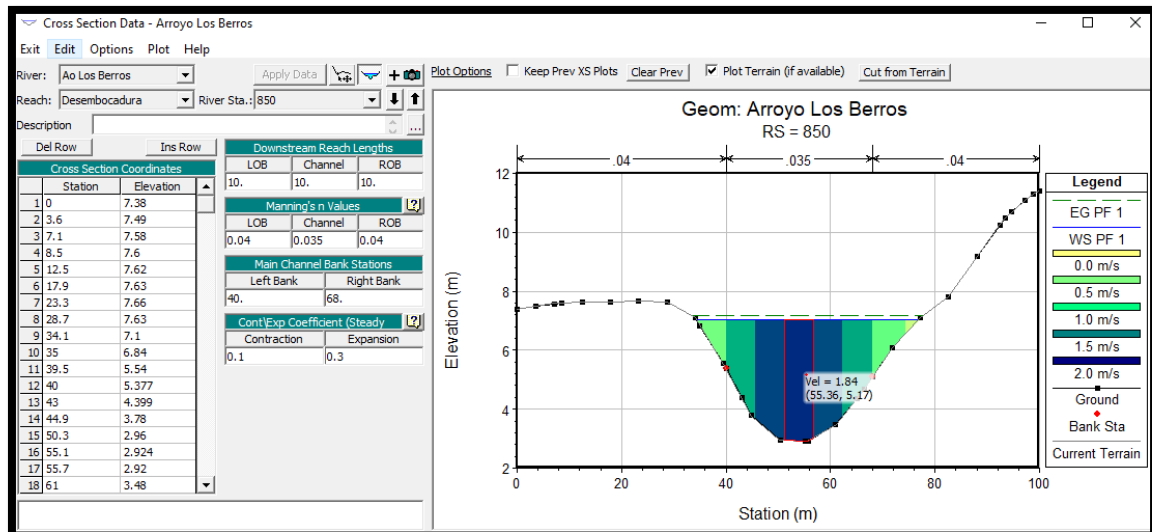


Ilustración 48- Perfil transversal de velocidades con modelo modificado

Incorporación de un puente:

A continuación, emplearemos el modelo ya creado para implantarle un puente y analizar la influencia de este último en el escurrimiento del curso, tanto aguas arriba como aguas abajo del mismo.

Paso a paso:

- 1) En primer lugar identificaremos la ubicación de nuestro puente dentro del curso de agua, para lo cual en nuestro caso de análisis, observaremos que los caminos de acceso nos permiten dar una idea de dicha posición:

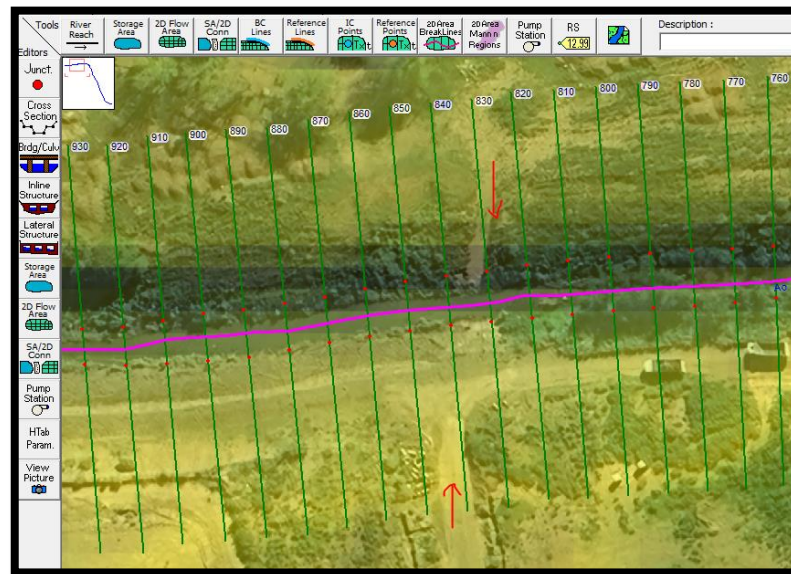


Ilustración 49- Zona aproximada de la implantación

Para esta explicación, asumiremos que el puente se ubicara entre la secciones de progresiva +840,00 y +830,00.

Nos dirigimos a la sección de “Edit and/or create bridge or culverts”

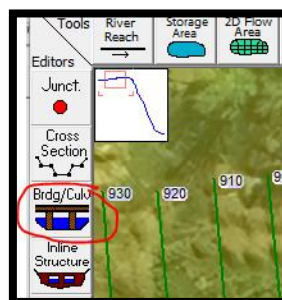


Ilustración 50- Icono de la sección “Edit and/or create bridge or culverts”

Luego clickeando en la barra superior en “Options- add a bridge and/or curlvert”, nos pedirá la progresiva de la sección transversal del puente.

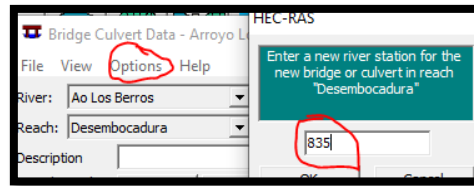


Ilustración 51- Creación e indicación de la progresiva del puente

Inmediatamente nos mostrará las secciones aguas arriba y debajo de la ubicación del puente:

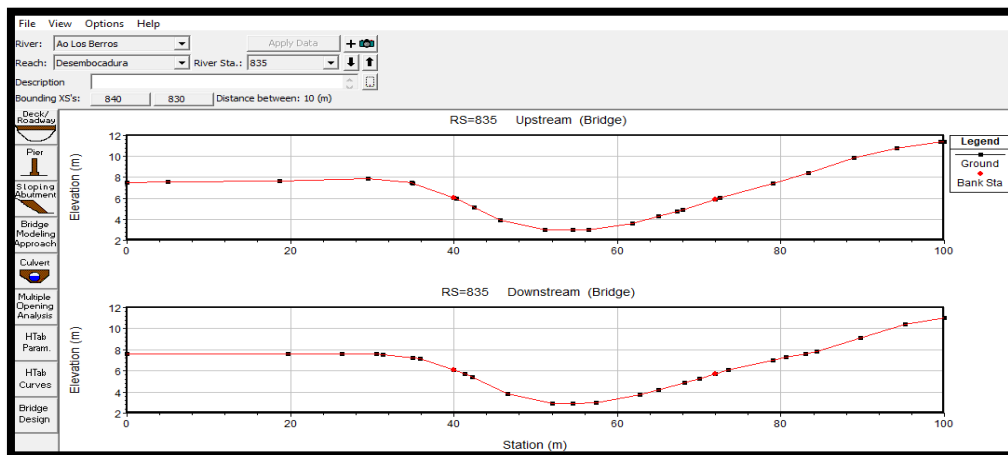


Ilustración 52- Secciones aguas arriba y debajo del puente

2) Posteriormente nos dirigimos al icono de “Bridge design” en la barra vertical de opciones, e introducimos los datos genéricos de nuestro puente (al cual luego seguiremos modificando).

Aquí deberemos colocar la altura superior e inferior de nuestro tablero para la creación del mismo (luego se modificará la longitud). Una vez hecho esto, clicar en “Make deck/roadway”. En forma análoga introducir el numero de pila, la ubicación de la primera pila, la separación entre pilas y el ancho de la pila (todo de acuerdo con la geometría del puente que corresponda). Luego clicar en “Make piers”.

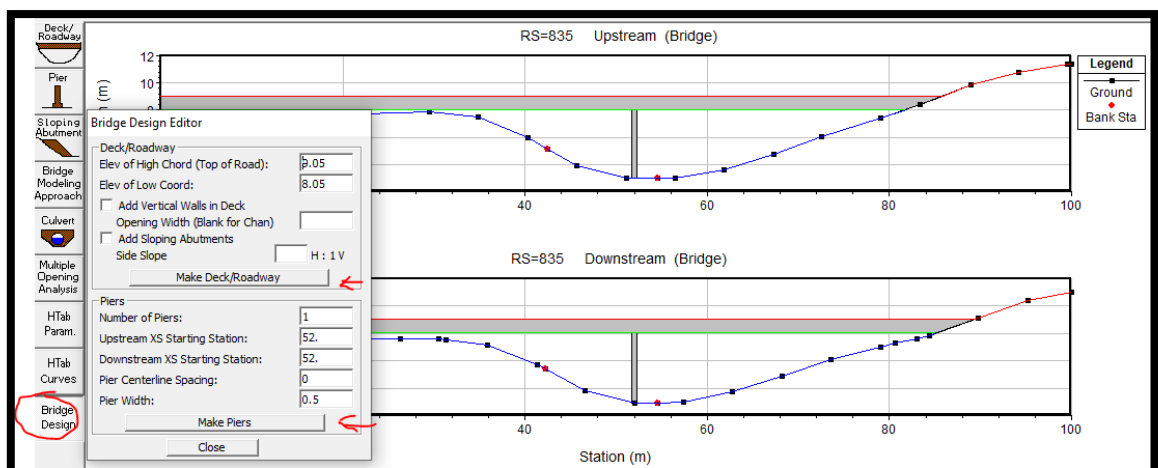


Ilustración 53- Asignación de parámetros, creación del tablero y de la pila central

Procedemos entonces a editar el tablero. Para eso nos dirigimos a “Deck/Roadway” en la barra vertical de opciones.

Suponemos que la distancia desde la sección aguas arriba es de 0,5m; que el ancho del puente es de 9m y que en la vista transversal, el tablero (sin considerar los estribos todavía) va desde el punto X=40.3m al X=72.6m.

Distance		Width		Weir Coef
0.5		9.		1.4

	Upstream			Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	40.3	9.05	8.05	40.3	9.05	8.05
2	72.6	9.05	8.05	72.6	9.05	8.05
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Ilustración 54- Datos ingresados

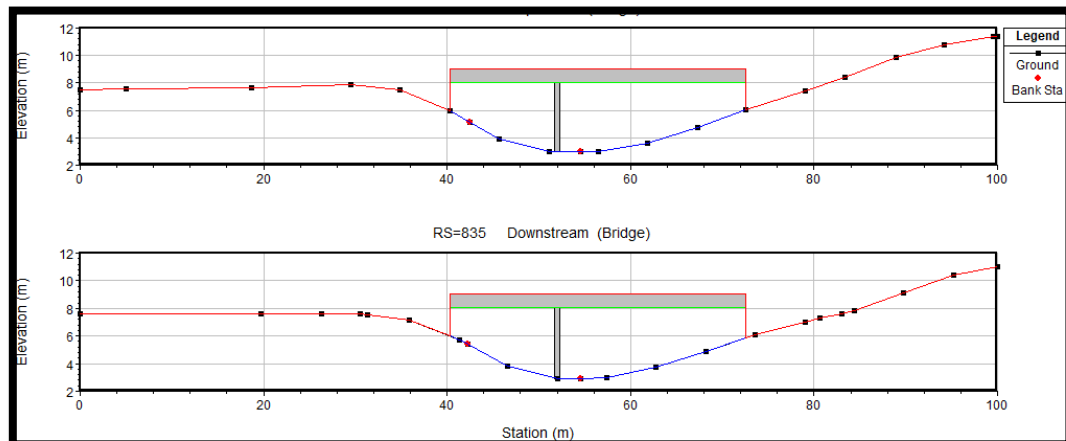


Ilustración 55-Resultados de la modificación del tablero

Luego realizamos la creación de los estribos en cuestión. Para ello, primero crearemos el de la margen izquierda (opcional). Nos dirigimos al icono de “Sloping abutment”, e introducimos los datos de “Station y Elevation” tanto para la sección de aguas arriba como aguas abajo. En este caso supusimos que tiene 5 metros de ancho (en la dirección transversal) y por ende arranca en X=35,3m y finaliza en X=40,3m (coincidiendo con el tablero).

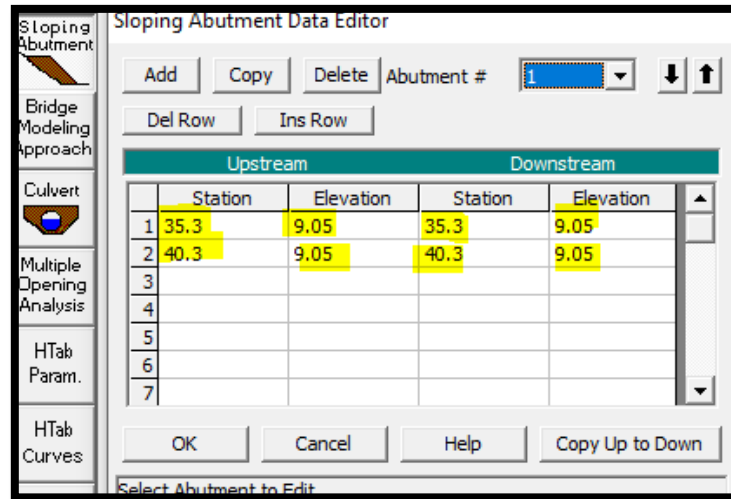


Ilustración 56- Creación estribo N°1

Posteriormente realizamos el proceso análogo para el estribo N°2. Para crear este, debemos clicar en “Add” y luego verificar que se esté editando el N°2.

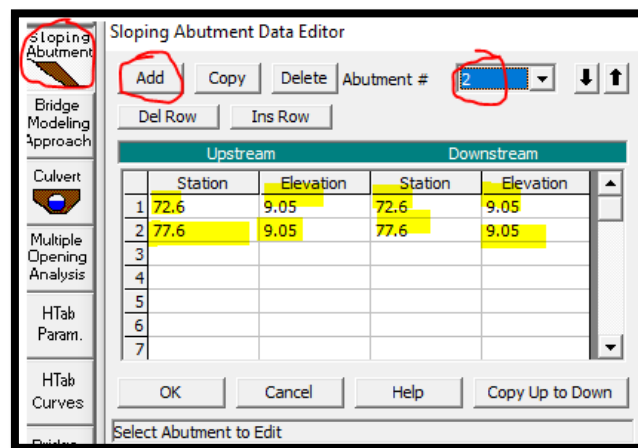


Ilustración 57- Creación estribo N°2

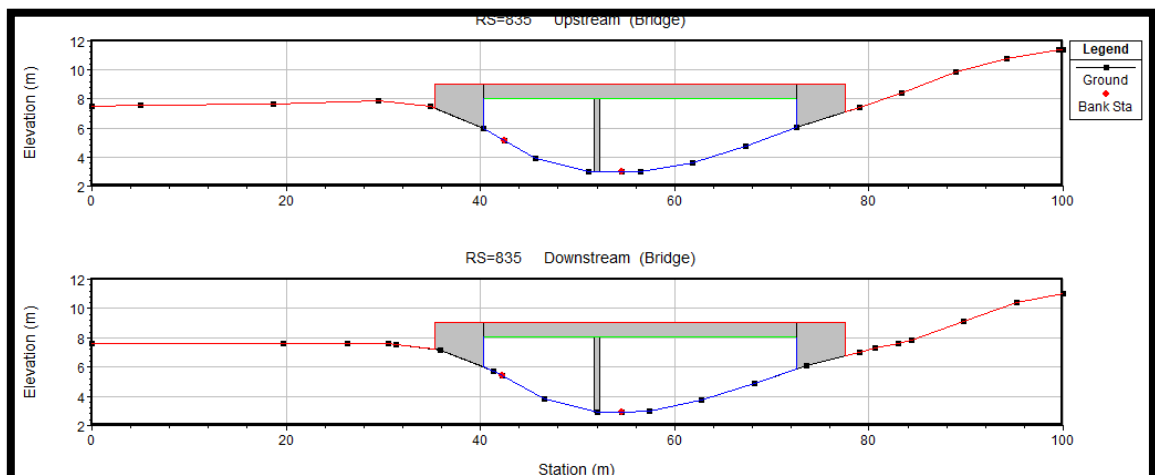


Ilustración 58- Resultados del puente inicial

Si no estamos conformes con la geometría modelada, queremos desplazar algún elemento, modificar sus dimensiones, etc; simplemente editamos con las opciones de la barra vertical que estuvimos analizando (incluyendo también la correspondiente a la edición de pilas no vista). Por ejemplo, podemos centrar un poco más la pila si se deseara.

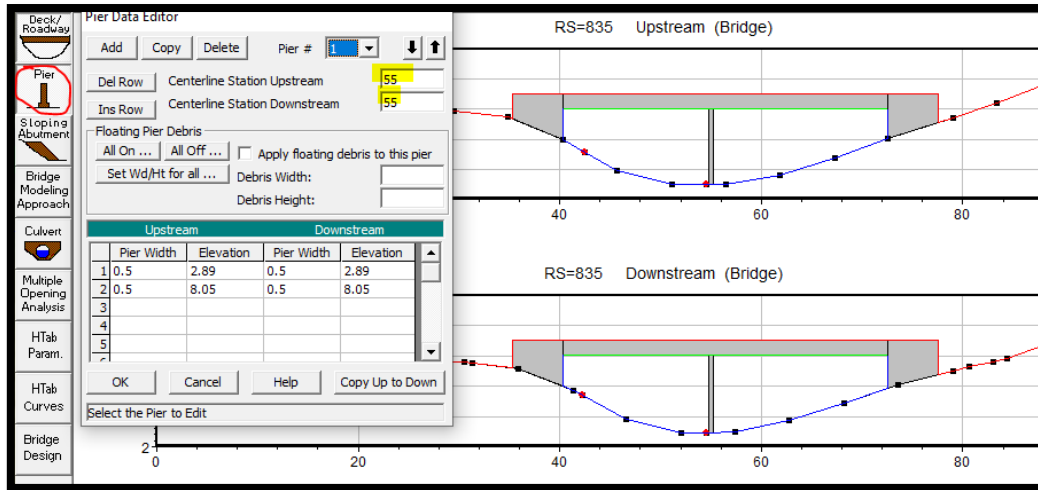


Ilustración 59- Edición de la posición de la pila central

Podemos visualizar el puente implantado desde la vista de geometric data, e incluso la perspectiva en 3 dimensiones de la perspectiva X-Y-Z.

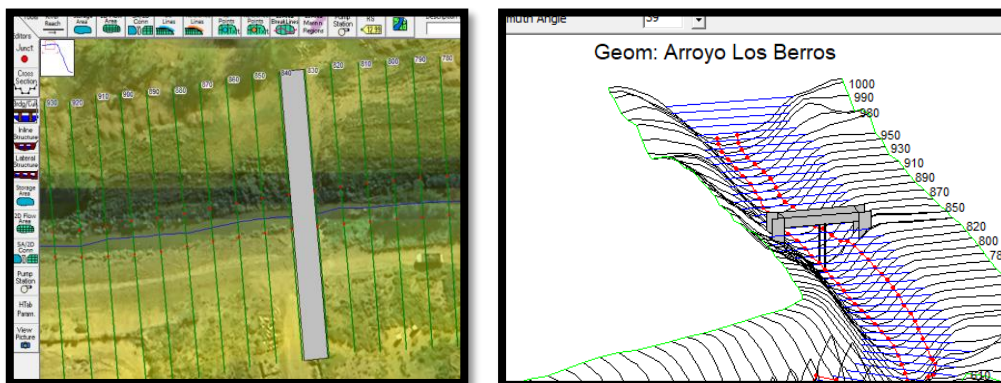


Ilustración 60- Puente visto en planta en "Geometric Data" y en "X-Y-Z perspective"

- 3) Por último, se procede a computar nuevamente el modelo, sin necesidad de crear un nuevo "plan". Es decir simplemente nos dirigimos a "Perform a steady flow simulation" y clickeamos en "Compute".

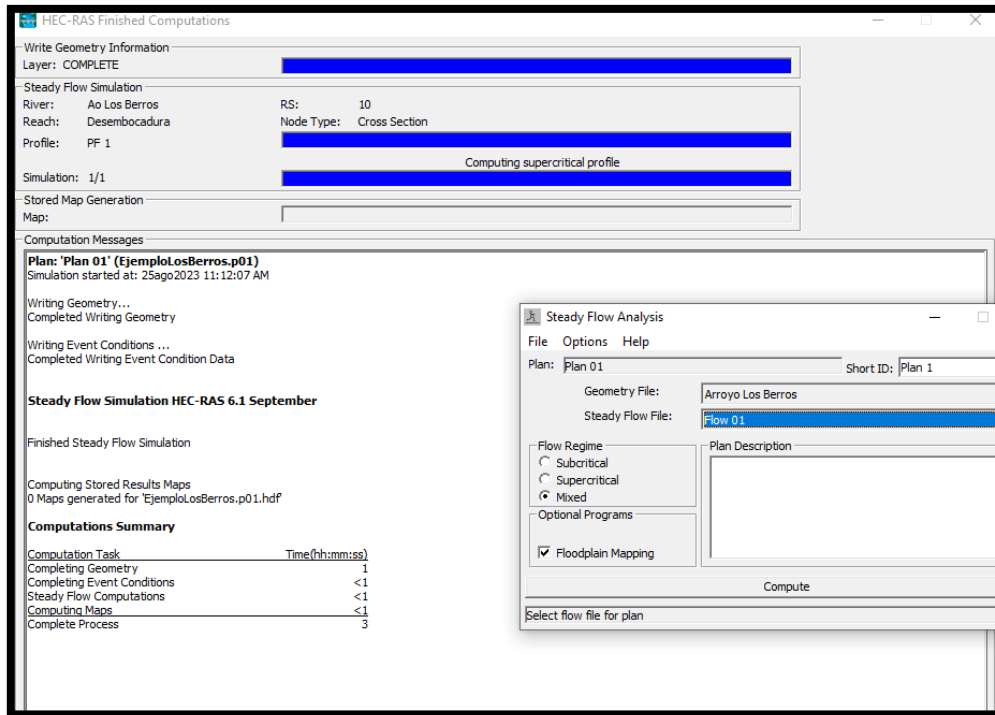
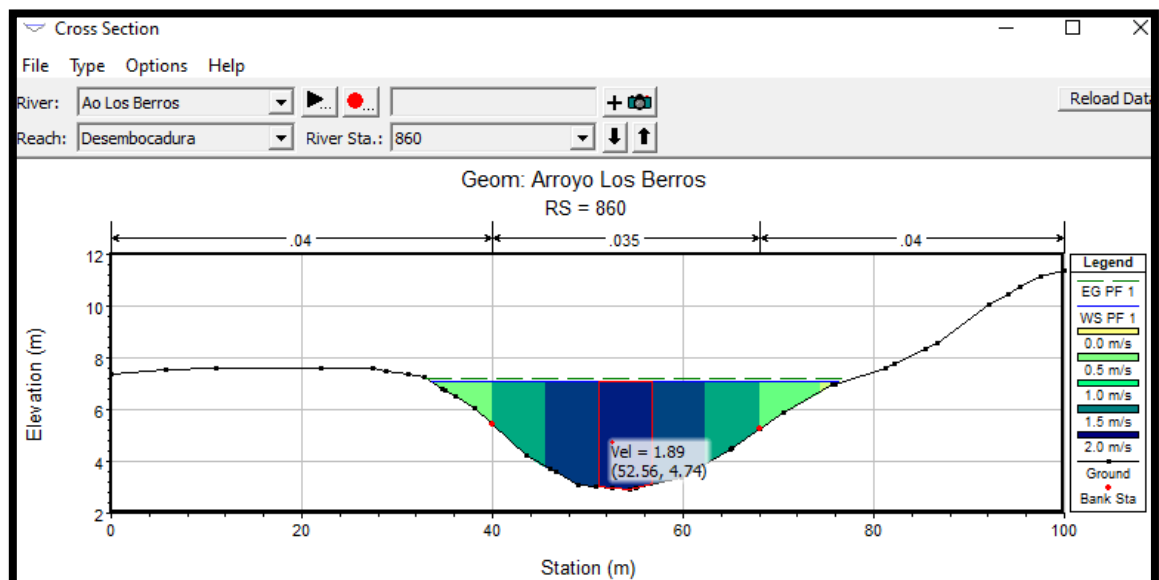


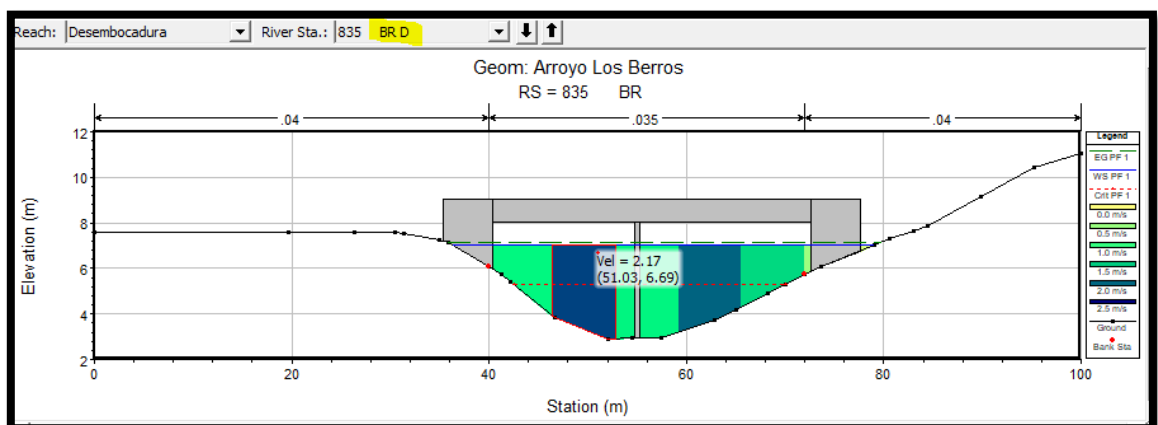
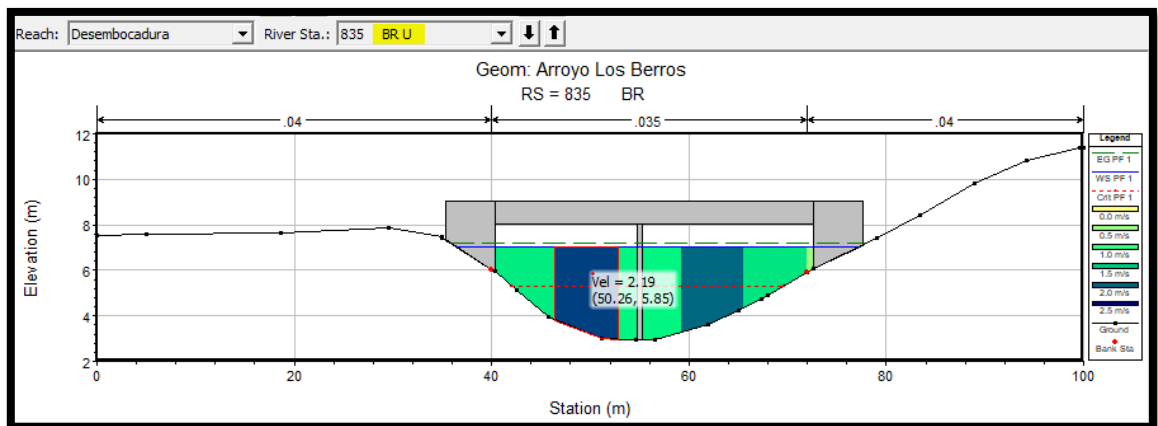
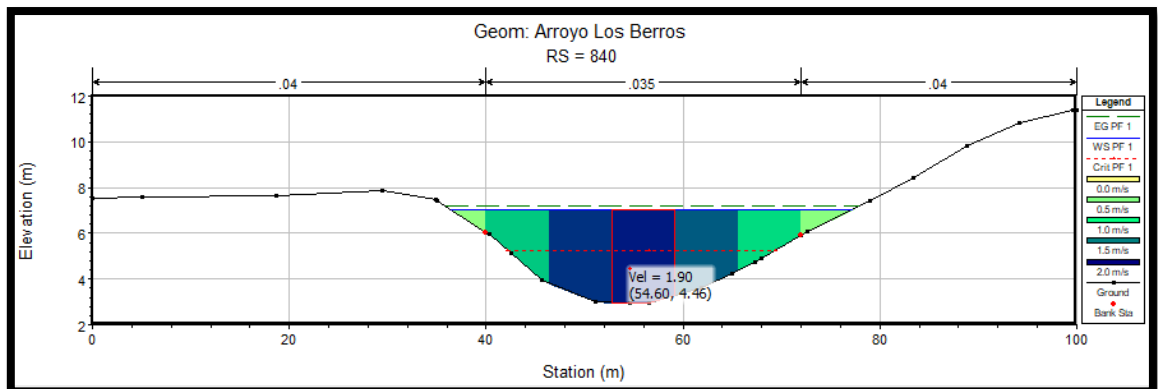
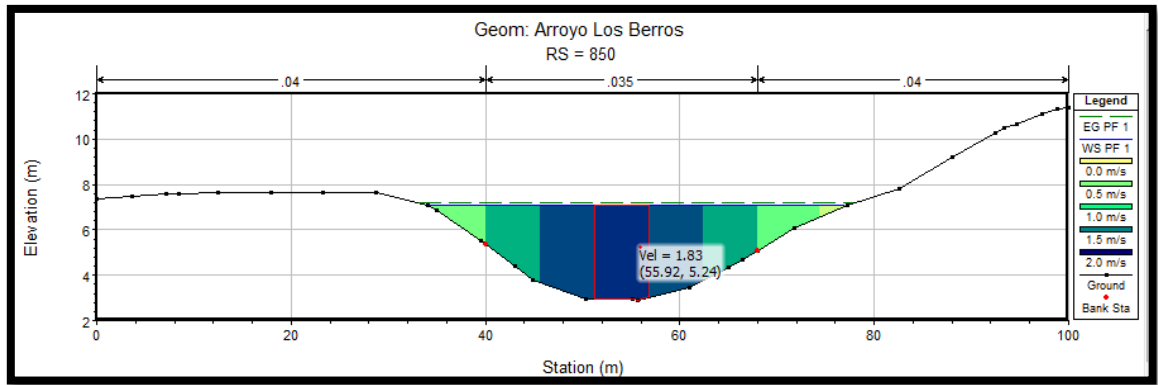
Ilustración 61- Computo del modelo

4) Se procede a la extracción de resultados:

4.1) Perfil de velocidades transversales en las inmediaciones del puente:

A continuación exponemos los resultados para las secciones en las inmediaciones del puente implantado, analizando las velocidades máximas.





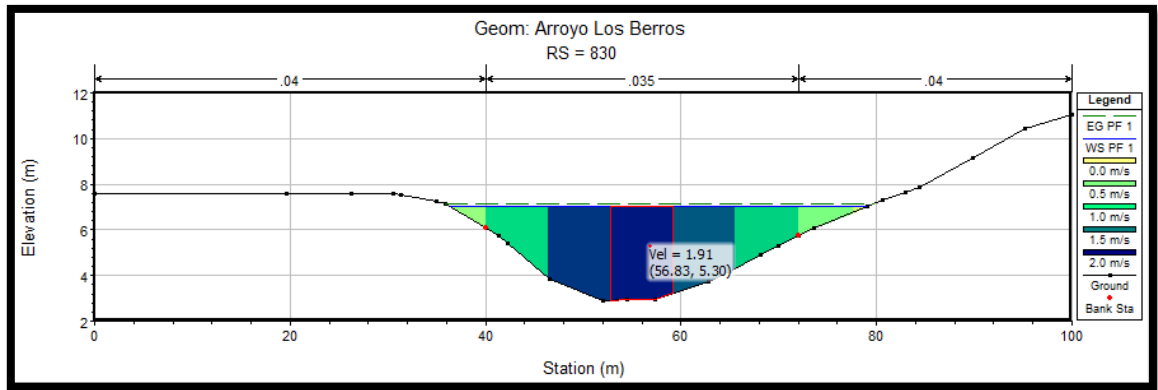


Ilustración 62- Secciones en las inmediaciones del puente

Como puede observarse, si bien no es muy significativa, existe una aceleración del escurrimiento en las secciones del puente debido a la estricción existente por la implantación del puente.

4.2) Perfil Longitudinal:

Se expone el perfil longitudinal extraído de forma análoga a lo efectuado en el modelo previo a la implantación del puente.

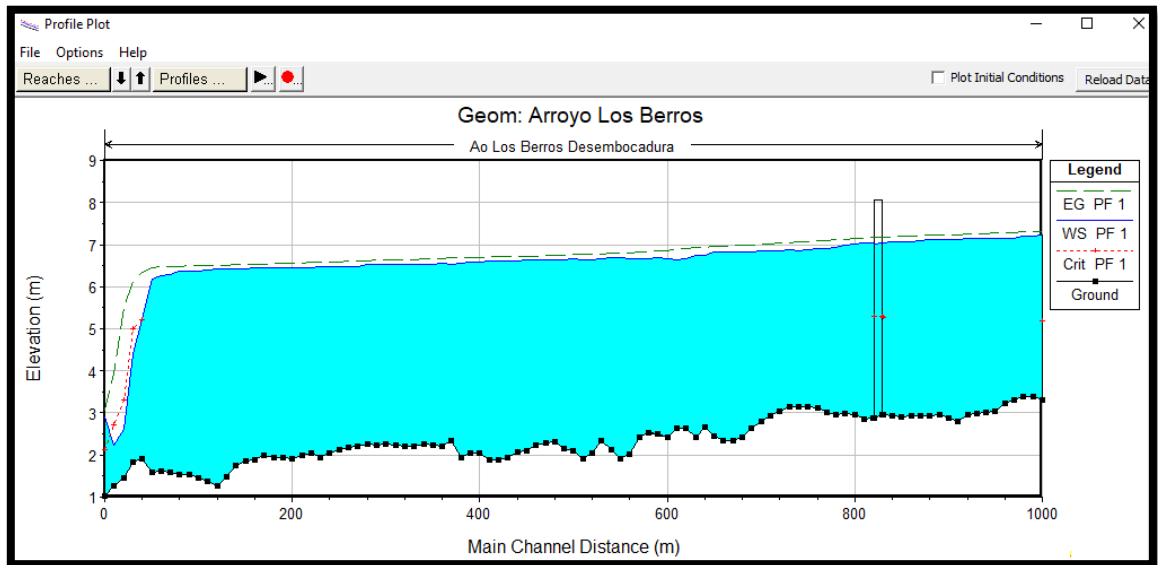


Ilustración 63- Perfil longitudinal en arroyo con puente

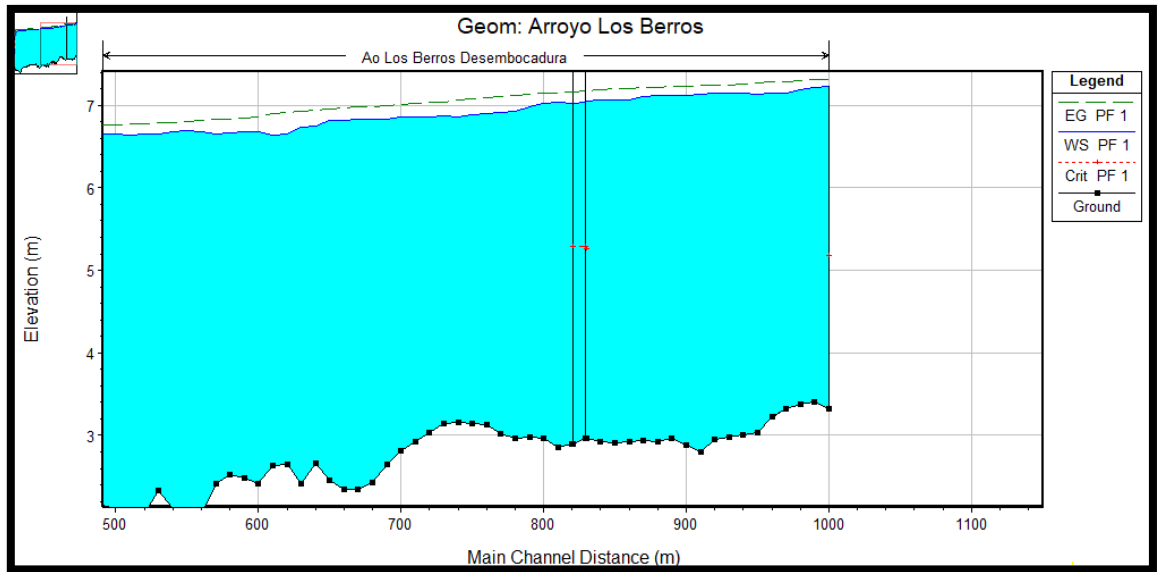


Ilustración 64-Zoom en zona de puente del perfil longitudinal en arroyo

4.3) Vista en 3D:

Nuevamente en forma análoga a lo hecho previamente, se obtiene la vista en 3 dimensiones del modelo.

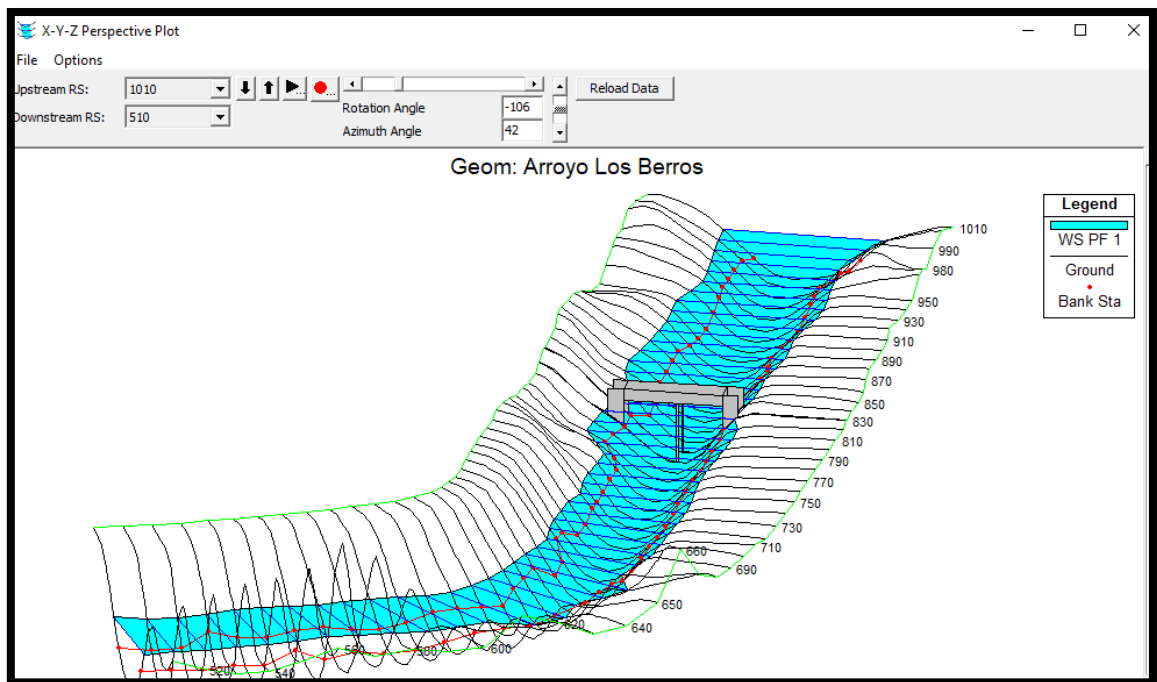


Ilustración 65- Vista 3D del modelo con puente

EJEMPLO ALTERNATIVO

A continuación, simplemente para analizar el cambio en el comportamiento hidráulico, propondremos una modificación en el número de pilas, posición y ancho. De esta forma se buscará perturbar en mayor medida el escurrimiento y que eso se vea en el modelo.

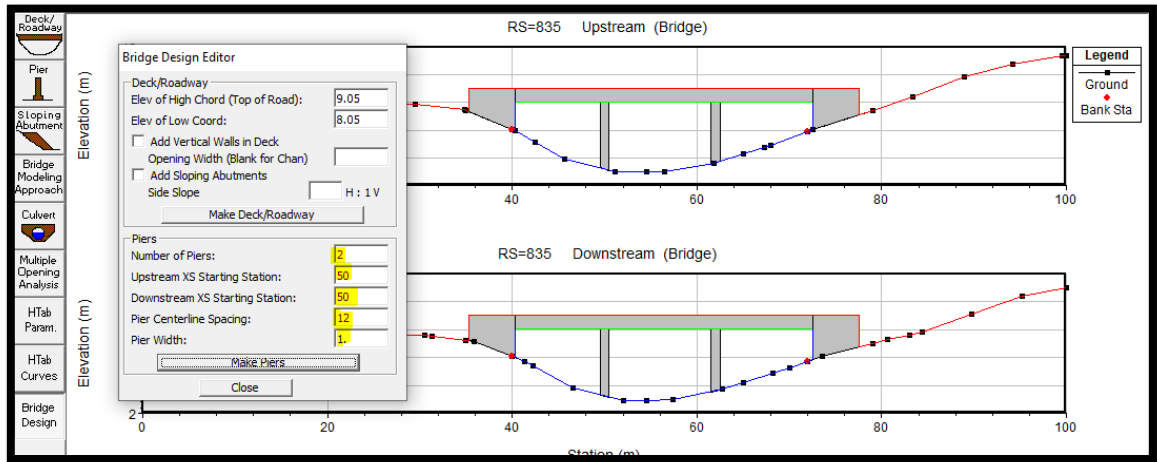
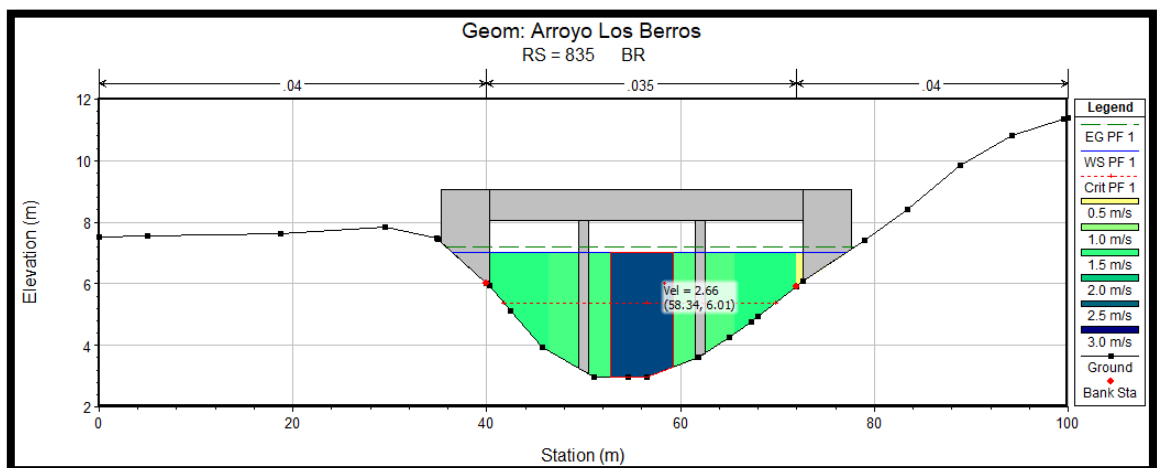
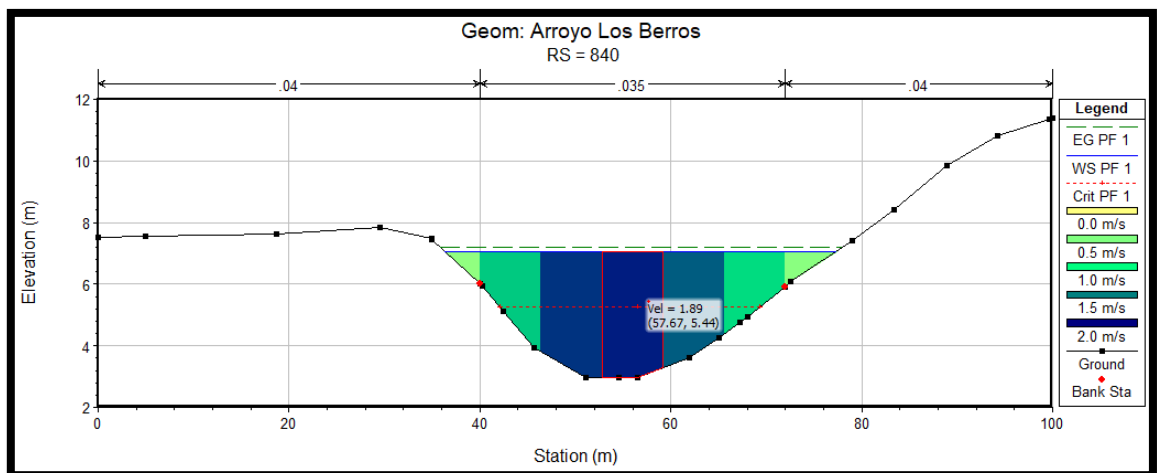


Ilustración 66- Segundo puente propuesto



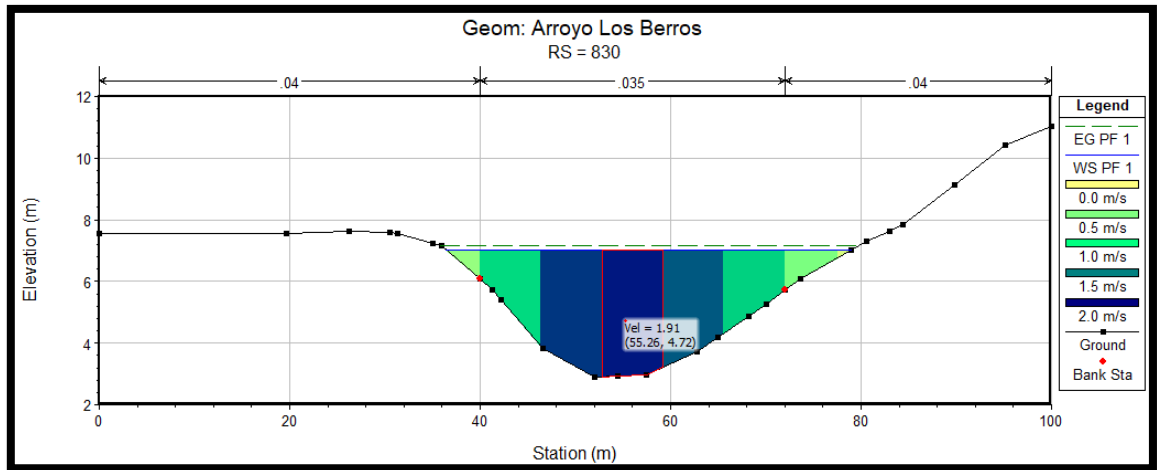


Ilustración 67- Perfil transversal de velocidades para secciones inmediatas al puente 2

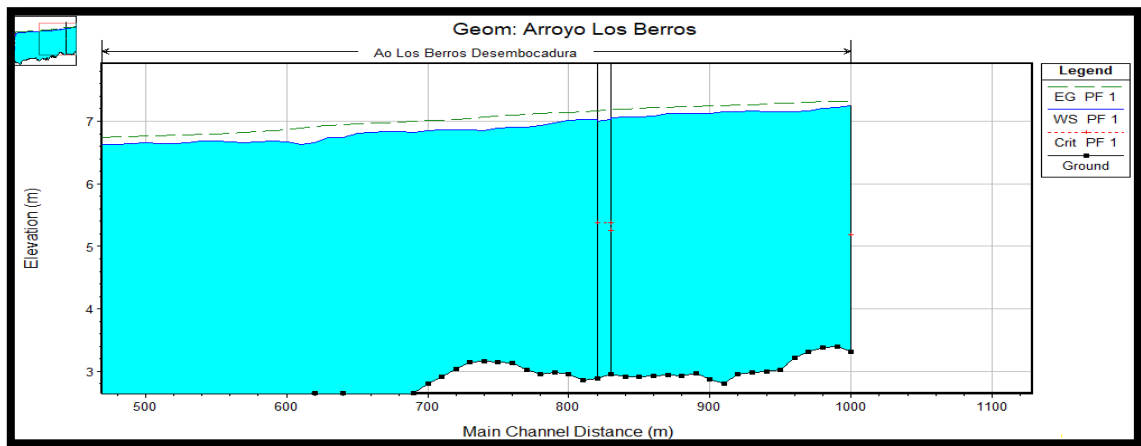


Ilustración 68- Perfil longitudinal en modelo con puente 2

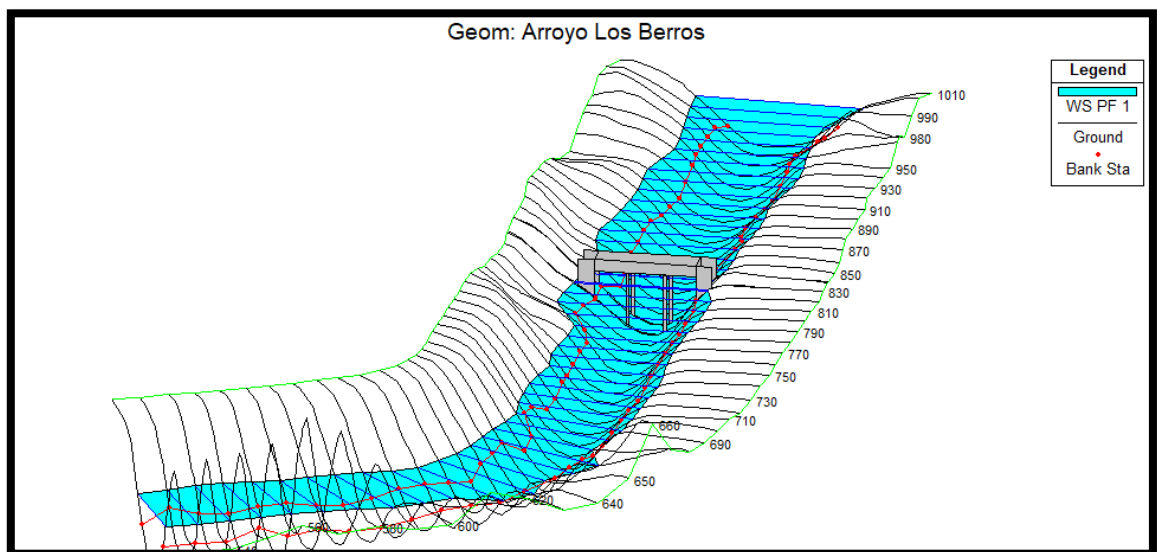


Ilustración 69-Vista 3D en modelo con puente 2

Análisis de fenómenos erosivos en el puente:

A continuación efectuaremos un resumido análisis de la erosión en la sección de implantación del puente. Nótese que en el presente documento no se explicarán los conceptos teóricos de los métodos empleados para el cálculo, sino que solamente se explicará el procedimiento para obtención de resultados con el software.

En primer lugar, en la barra superior de herramientas nos dirigimos a “Run – Hydraulic design functions”, y luego en “Type” (en la barra superior) seleccionamos “Bridge Scour”:

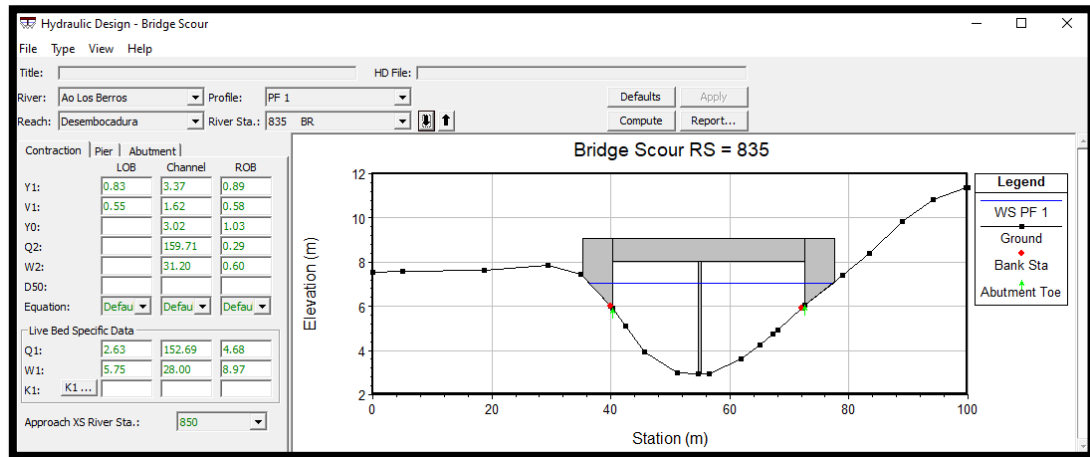


Ilustración 70- Solapa de "Hydraulic design functions" por default

El software automáticamente arroja los valores de “profundidad promedio en la sección de aproximación (γ_1)”, “velocidad promedio en la sección de aproximación (V1)”, “profundidad promedio en la sección interna del puente (γ_2)”, “Caudal pasante por la abertura del puente (Q2)”, “ancho superior de la sección (W2)”

Para el caso de la erosión generalizada en principio debemos insertar el valor del “D50” (diámetro para el cual pasan el 50% de las partículas), el cuál provendrá de un estudio geotécnico.

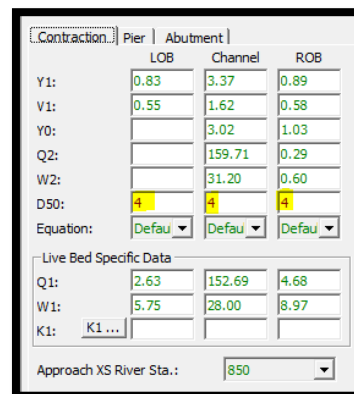


Ilustración 71- Adopción del D50

A su vez, clickeando en el botón del símbolo de “K1...”, el programa calcula un valor para este parámetro y permite que se introduzca en forma automática al apretar en “OK”

	LOB	Channel	ROB
S1 :	0.000651	0.000651	0.000651
V* (m/s):	0.07	0.15	0.08
Water Temp (C):		16.0	
w (m/s):	0.3380	0.3380	0.3380
V*/w :	0.207	0.444	0.237
K1 :	0.590	0.590	0.590

OK Cancel

EG slope in approach section

Ilustración 72- Autodeterminación del parámetro K1

Luego clickeando en “Compute”, se puede visualizar la erosión por contracción del flujo, es decir por el aumento de la velocidad debido a la estricción generada.

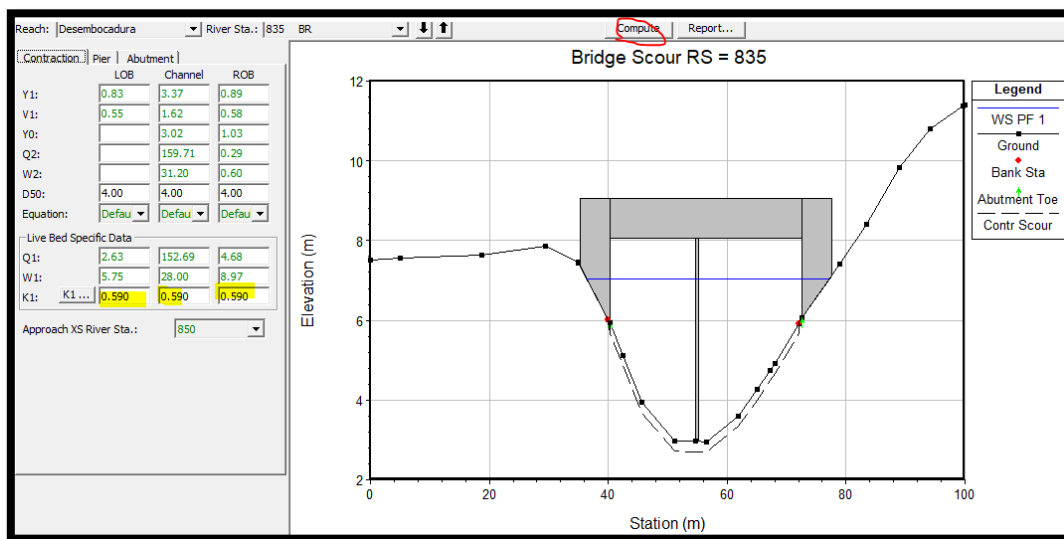


Ilustración 73- Erosión por contracción en el puente

Luego se procede a editar las características para las pilas y estribos

Contraction | **Abutment**

Maximum V1 Y1 Local V1 Y1

Pier # Apply to All Piers

Shape: Round nose

a: 0.50 D50: 4

Y1: 4.01 V1: 1.90 Fr1: 0.167

Method: CSU equation

CSU's Eqn. Specific Data

K1: 1.00

Angle: 0 L: 9.00

K2: 1.00

K3: 1.1 - Clear-Water Scour

D95: 10 K4: 1.00

Froelich's Eqn. Specific Data

a': Phi: 1.00

Contraction | Pier | **Abutment**

	Left	Right
Toe sta at Bridge:	40.30	72.60
Toe sta at App:	40.30	68.60
Length:	6.05	8.37
Y1:	1.11	0.98
K1:	1.00 - Vertical abutment	
Skew (deg):	90.00	90.00
K2:	1.00	1.00
Equation:	Default	
Froelich's Eqn. Specific Data		
L':	6.05	8.37
Ya:	0.92	0.88
Qe:	3.64	4.25
Ae:	5.56	7.33
HIRE Eqn. Specific Data		
V1:	1.22	0.46

Ilustración 74- Parámetros en suelo de las pilas y estribos

Para el caso de las pilas, insertamos el valor del “D50”, del “D95”, y del ángulo de incidencia del escurrimiento en las mismas.

Para el caso de los estribos, el programa arrojó todos los datos necesarios (habrá que verificar que los mismos sean adecuados si se dispone de mayor información).

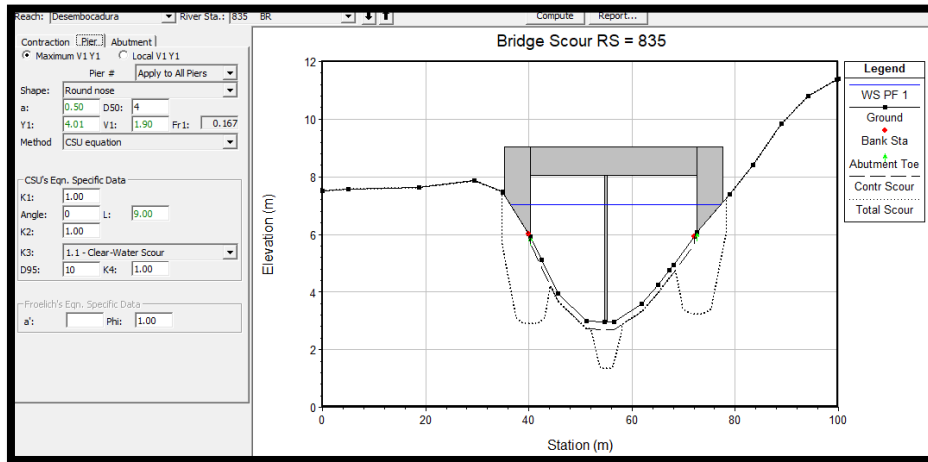


Ilustración 75- Erosión por contracción y erosión localizada

Luego se ajustarán las dimensiones del estribo para evitar que la erosión sobrepase su extensión, así como también que no exista escurrimiento por detrás de este.

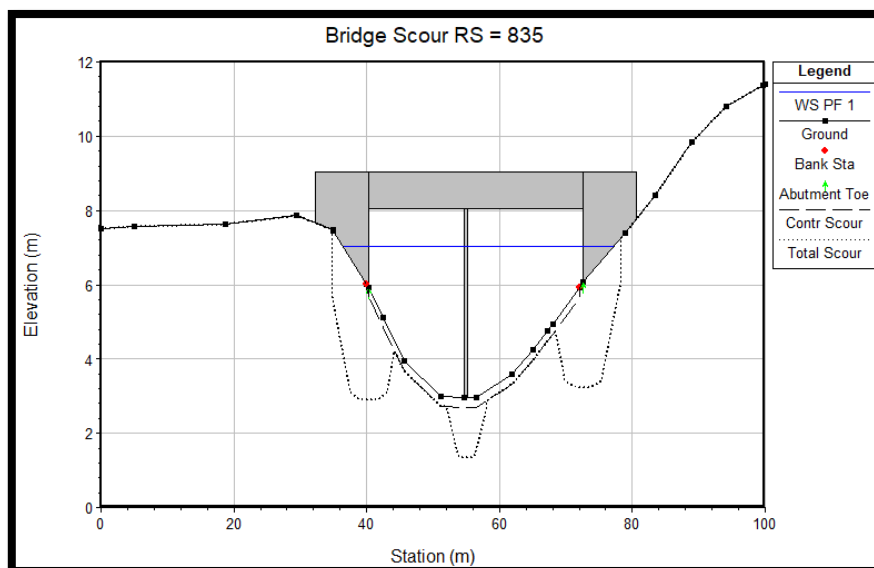


Ilustración 76- Ampliación de los estribos

Erosión en el puente 2:

Repitiendo en forma análoga el procedimiento efectuado en el modelo del puente con 1 sola pila, obtenemos el esquema de erosión para el puente con 2 pilas, en el cual se evidencia que se incrementan los mismos.

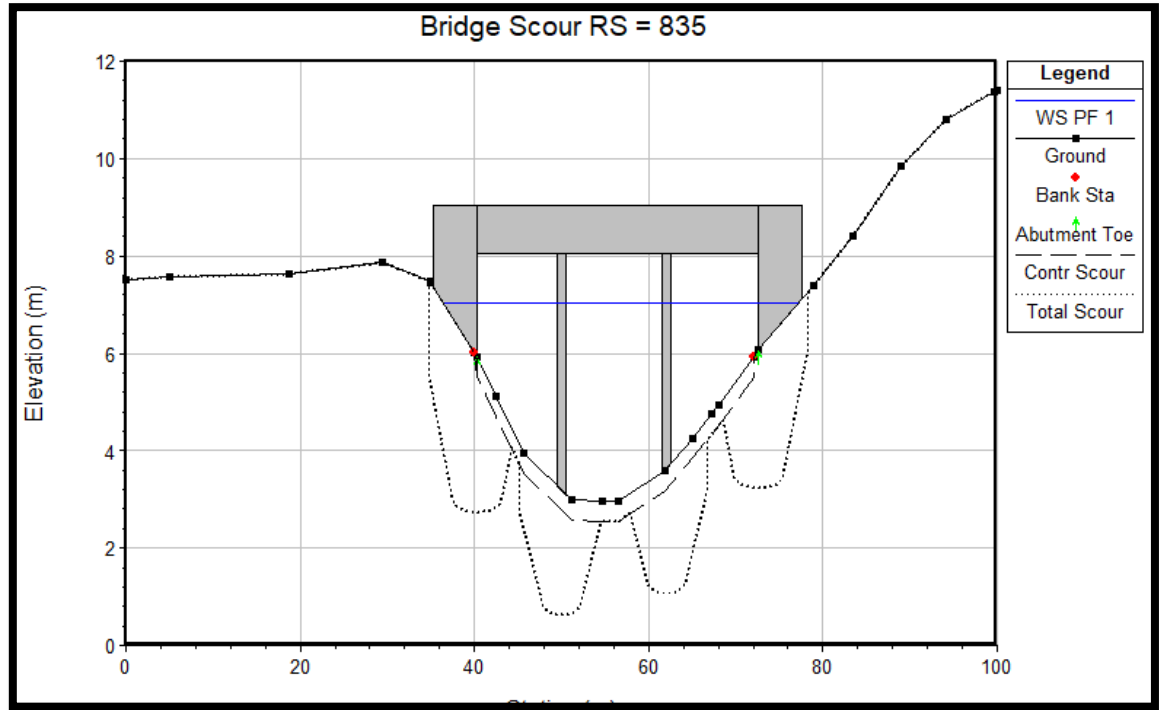


Ilustración 77- Erosión por contracción y erosión localizada en puente 2